

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

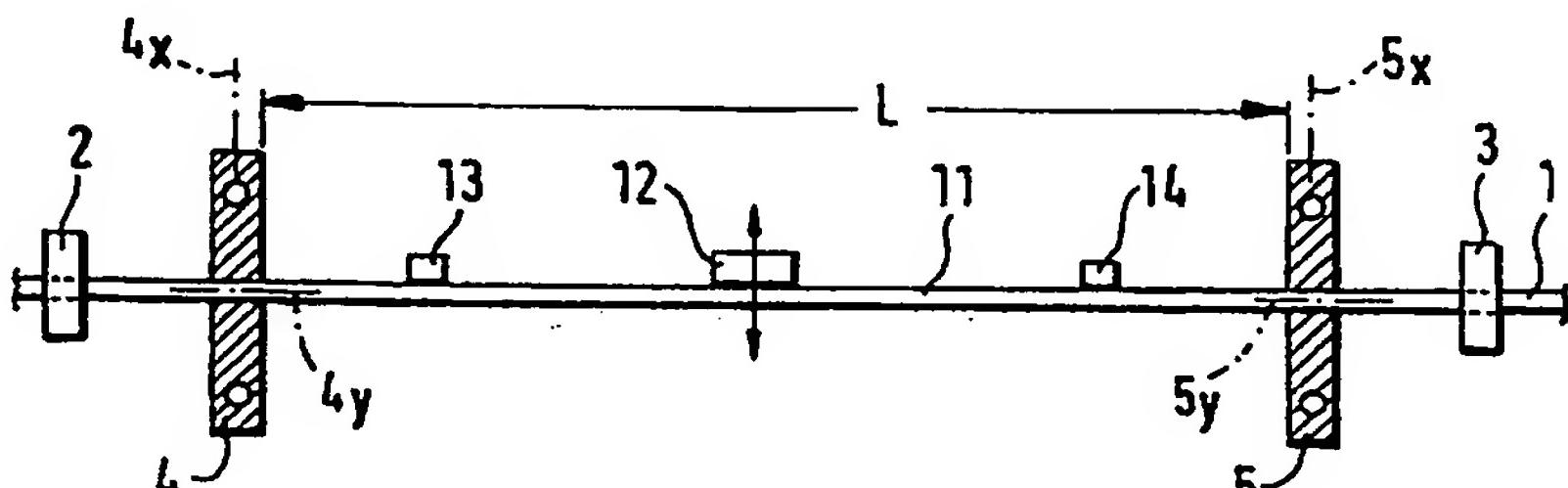
(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01F 1/84	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/51946 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 14. Oktober 1999 (14.10.99)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/02134	(81) Bestimmungsstaaten: CN, IN, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. März 1999 (29.03.99)		
(30) Prioritätsdaten: 98106146.8 3. April 1998 (03.04.98) EP	Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(71) Anmelder: ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG [CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH-4153 Reinach (CH).		
(72) Erfinder: DRAHM, Wolfgang; Am Hochrainacker 82, D-85435 Erding (DE). RIEDER, Alfred; Rennweg 34, D-84034 Landshut (DE). WENGER, Alfred; Schulstrasse 170, CH-8413 Neftenbach (CH). KOUDAL, Ole; Loogweg 13, CH-4153 Reinach (CH).		
(74) Anwalt: MORSTADT, Volker; Colmarer Strasse 6, D-79576 Weil am Rhein (DE).		

(54) Title: METHOD FOR MEASURING A MASS FLOW RATE AND CORRESPONDING DETECTOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM MASSEDURCHFLUSS-MESSEN UND ENTSPRECHENDE AUFNEHMER

(57) Abstract

The invention relates to a method which applies the clamp-on construction principle to coriolis-type mass flowmeters and detectors. A first and a second decoupling body (4, 5; 4', 5') with identical masses are fixed on a pipeline or a meter tube (1, 10, 10', 10'') at a distance L away from each other in order to define the segment of tube (11; 11'; 11'') which will form the measuring section. The masses of said decoupling bodies are significantly greater than the mass of the tube segment. For two meter tubes, clamping bodies (111, 112; 111', 112') are used. An exciter arrangement (12) is mounted in the centre of the tube segment. This exciter arrangement causes the tube segment to vibrate, the vibrations being of a third vibration mode with a frequency (f) of between 500 Hz and 1000 Hz. The distance L is calculated according to the following formula: $L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_{a,n}^4 - r_{i,n}^4)/(d_M + d_F)\}^{-1/4}$, ($r_{a,n}$ = the outer or inner diameter of the tube segment, E = the elasticity modulus of the tube segment, d_M = the density of the material of the tube segment multiplied by its cross-sectional area, d_F = the average density of the fluid multiplied by the cross-sectional area of the clear width of the tube segment). Two sensor elements (13, 14) are fixed on the tube segment at the point where a deformation of the tube segment resulting from the interference from the pipeline during excitation in the third vibration mode has a first or a second zero point.



(57) Zusammenfassung

Dieses Verfahren dient der Übertragung des Clamp-On-Konstruktionsprinzips auf Coriolis-Massedurchflussmesser und -aufnehmer. An einer Rohrleitung (1) oder an einem Meßrohr (1', 10, 10', 10'') werden zur Definierung eines Rohrabschnitts (11; 11'; 11'') bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4, 5; 4', 5') mit identischen Massen in einem Abstand L voneinander von außen fixiert. Diese Massen sind wesentlich größer als die Masse des Rohrabschnitts. Bei zwei Meßrohren werden Klemmkörper (111, 112; 111', 112') verwendet. In der Mitte des Rohrabschnitts wird eine Erregeranordnung (12) angebracht, die ihn zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus mit einer Frequenz f zwischen 500 Hz und 1000 Hz erregt. Der Abstand L wird nach folgender Formel berechnet: $L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4)/(d_M + d_F)\}^{-1/4}$ (r_a, r_i = Außen- bzw. Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E = Elastizitätsmodul des Rohrabschnitts, d_M = Dichte des Rohrabschnittsmaterials mal -querschnittsfläche, d_F = mittlere Dichte der Fluide mal Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts). Zwei Sensorelemente (13, 14) werden dort am Rohrabschnitt fixiert, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren zum Massedurchfluß-Messen und entsprechende Aufnehmer

5

Die Erfindung betrifft ein nach dem Coriolisprinzip arbeitendes Verfahren und entsprechende Aufnehmer zum Messen des Massedurchflusses eines Fluids, das in einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung oder in mindestens einem in eine Rohrleitung einzusetzenden Meßrohr strömt.

Heute übliche Massedurchflußaufnehmer von entsprechenden Massedurchflußmessern werden als Meßgeräte hergestellt, die erst vom Endabnehmer am vorgesehenen Meßort in eine dort vorhandene Rohrleitung eingebaut werden.

Bei einer Art von Ultraschall-Durchflußmessern, also bei auf einem anderen physikalischen Meßprinzip beruhenden und danach arbeitenden Durchflußmessern, ist es seit langem üblich, Ultraschall-Sender und -Sensoren an einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung von außen anzubringen; die Bezeichnung Clamp-On-Ultraschall-Durchflußaufnehmer hat sich hierfür eingebürgert.

25

Auch bei Coriolis-Massedurchflußaufnehmern und -messern besteht ein Bedürfnis nach Anwendung des Clamp-On-Konstruktionsprinzips, also der Wunsch, nach dem Coriolis-Prinzip an und mittels einer bereits fest installierten Rohrleitung deren Massedurchfluß messen zu können.

Hierzu ist in der US-A 53 21 991 ein Coriolis-Massedurchflußmesser mit einem entsprechenden Aufnehmer beschrieben, der aus einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung, in der mindestens temporär ein Fluid strömt, dadurch gebildet ist, daß

- die Rohrleitung an zwei Stellen in einem vorzugebenden Abstand L auf einer Unterlage zur Definierung einer einen Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke fixiert ist,
- etwa in der Mitte einer Hälfte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung fixiert ist,
- die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines zweiten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt,
- entweder in der Mitte des Rohrabschnitts ein einziger Bewegungssensor fixiert ist,
- oder in der Nähe der Mitte des Rohrabschnitts ein erster und ein zweiter Bewegungssensor beabstandet von einander fixiert sind,
- wobei eine Auswerte-Elektronik aus der Amplitude des vom Bewegungssensor generierten einzigen Sensorsignals bzw. aus der Amplitude der von den beiden Bewegungssensoren generierten Sensorsignale ein den Massedurchfluß repräsentierendes Signal erzeugt.

Die vorbeschriebene Anordnung benötigt wegen der ausschließlichen Auswertung der Amplitude des (der) Sensorsignals(e) einen weiteren Sensor, der an einer der Fixierstellen angebracht ist, um aus der Rohrleitung stammende Störungen zu unterdrücken und damit eine ausreichende Meßgenauigkeit zu erreichen.

Eine allgemeine Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, das Clamp-On-Konstruktionsprinzip von Coriolis-Massedurchflussmessern so zu verbessern und zu verfeinern, daß möglichst exakte Meßergebnisse erhalten werden. Zu dieser allgemeinen Aufgabe gehört erstens, daß nicht die Amplitude der Sensorsignale ausgewertet wird, zweitens, daß immer zwei voneinander beabstandete Sensoren vorgesehen werden, und drittens, daß die Länge der Meßstrecke bzw. des schwingenden Rohrabschnitts genau dimensioniert und vorgegeben wird. Dies bedeutet, daß ein Abschnitt der Rohrleitung so zu

konfigurieren und festzulegen ist, daß er als Meßstrecke dienen und wirken kann.

Eine weitere Aufgabe besteht darin, das der Erfindung für bereits bestehende und fest installierte Rohrleitungen zugrunde liegende Lösungsprinzip auf übliche Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmer zu übertragen, also bei einem selbständig hergestellten Gerät nutzbar zu machen, das erst als fertiger Massedurchflußaufnehmer in eine Rohrleitung einzubauen ist.

Die folgenden Verfahrensvarianten und Varianten der Erfindung dienen der Lösung dieser Aufgaben.

- 15 Eine erste Verfahrensvariante besteht in einem nach dem Coriolisprinzip arbeitenden Verfahren zum Messen des Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines mindestens temporär in einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung oder in einem in eine Rohrleitung einzusetzenden einzigen Meßrohr strömt, wobei
- an der Rohrleitung bzw. am Meßrohr zur Definierung einer einen Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper mit identischen Massen in einem Abstand L voneinander von außen fixiert werden, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts sind,
 - in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung angebracht wird,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet wird:
35
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot (E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F))^{-1/4},$$

- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts,
5 r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts,
 E der Elastizitätsmodul des Materials des
 Rohrabschnitts,
 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des
 Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der
 Wand des Rohrabschnitts und
10 d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der
 Fluide und der Querschnittsfläche der lichten
 Weite des Rohrabschnitts bedeuten,
- von welchen Entkoppelkörpern
-- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse, eine
 dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts
 identische zweite Achse und eine zur ersten und zur
15 zweiten Achse senkrechte dritte Achse hat und
-- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse hat,
 das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen
 Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse ist,
- ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor dort am
20 Rohrabschnitt bzw. am Meßrohr fixiert werden, wo bei
 Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus
 der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung
 des Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle
 hat,
25 - eine Phasenverschiebung oder eine Zeitdifferenz zwischen
 einem vom ersten Beschleunigungssensor abgegebenen ersten
 Sensorsignal und einem vom zweiten Beschleunigungssensor
 abgegebenen zweiten Sensorsignal bestimmt wird und
- daraus ein dem Massedurchfluß proportionales Signal erzeugt
30 wird.

Eine zweite Verfahrensvariante besteht in einem nach dem
Coriolisprinzip arbeitenden Verfahren zum Messen des
Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines mindestens
35 temporär in einer vor Ort bereits fest installierten

Rohrleitung oder in einem in eine Rohrleitung einzusetzenden einzigen Meßrohr strömt, wobei

- an der Rohrleitung bzw. am Meßrohr zur Definierung einer einen Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper mit identischen Massen in einem Abstand L voneinander von außen fixiert werden, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts sind,
- in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung angebracht wird,
- die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet wird:
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$
-- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts, r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts, d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,
- von welchen Entkoppelkörpern
- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse, eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse hat und
- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse ist,

- am ersten Entkoppelkörper ein einlaufseitiger erster Sensorträger fixiert wird,
 - von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts bzw. des Meßrohrs verläuft,
- 5 - am zweiten Entkoppelkörper ein auslaufseitiger zweiter Sensorträger fixiert wird,
- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts bzw. des Meßrohrs verläuft,
- 10 - ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor dort am ersten bzw. am zweiten Sensorträger fixiert werden, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des ersten bzw. des zweiten Sensorträgers eine erste bzw.
- 15 eine zweite Nullstelle hat,
- eine Phasenverschiebung oder eine Zeitdifferenz zwischen einem vom ersten Sensor abgegebenen ersten Sensorsignal und einem vom zweiten Sensor abgegebenen zweiten Sensorsignal bestimmt wird und
- 20 - daraus ein dem Massedurchfluß proportionales Signal erzeugt wird.

Eine dritte Verfahrensvariante besteht in einem nach dem Coriolis-Prinzip arbeitenden Verfahren zum Messen des

- 25 Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines mindestens temporär in einem ersten und und in einem zweiten Meßrohr strömt,
- die in eine Rohrleitung einzusetzen sind,
 - die parallel zueinander verlaufen,
- 30 - von denen eine jeweilige Achse in einer ersten Ebene liegt,
- die dieselben Innen- und Außen-Durchmesser sowie dieselbe Wandstärke haben,
 - die aus demselben Material bestehen,
 - an denen zur Definierung einer einen jeweiligen
- 35 Rohrabschnitt der Meßrohre bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Klemmkörper mit identischen Massen in einem

vorzugebenden Abstand L voneinander von außen aufgeklemmt werden und

- an denen in der Mitte der Rohrabschnitte mindestens eine Erregeranordnung fixiert wird,
- 5 -- die die Rohrabschnitte zu zueinander entgegengesetzten Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in der ersten Ebene mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitten etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
- 10 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet wird:
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot (E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F))^{-1/4},$$
- wobei r_a der Außendurchmesser der Rohrabschnitte, r_i der Innendurchmesser der Rohrabschnitte, E der Elastizitätsmodul des Materials der Rohrabschnitte,
- 15 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials der Rohrabschnitte und der Querschnittsfläche der Wand der Rohrabschnitte und d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite der Rohrabschnitte bedeuten,
- 20 - ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor dort zwischen den Rohrabschnitten fixiert wird, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung der Rohrabschnitte eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat,
- 25 - eine Phasenverschiebung oder eine Zeitdifferenz zwischen einem vom ersten Sensor abgegebenen ersten Sensorsignal und einem vom zweiten Sensor abgegebenen zweiten Sensorsignal bestimmt wird und
- 30 - daraus ein dem Massedurchfluß proportionales Signal erzeugt wird.

Nach einer jeweils ersten Ausgestaltung der ersten und der zweiten Verfahrensvariante

- werden der erste und der zweite Entkoppelkörper so dimensioniert und angeordnet,

5 -- daß der erste Entkoppelkörper besteht aus

--- einem ersten Fixierstück,

--- einem ersten Zwischenstück,

--- einem zweiten Zwischenstück,

--- einem ersten Endquader und

10 --- einem zweiten Endquader,

-- daß der zweite Entkoppelkörper besteht aus

--- einem zweiten Fixierstück,

--- einem dritten Zwischenstück,

--- einem vierten Zwischenstück,

15 --- einem dritten Endquader und

--- einem vierten Endquader,

-- daß eine jeweilige Längsachse der vier Endquader parallel zur Achse des Rohrabschnitts bzw. des Meßrohrs verläuft,

20 -- daß die Längsachsen des ersten und des zweiten Endquaders und die Achse des Rohrabschnitts bzw. des Meßrohrs in einer zur ersten Ebene senkrechten zweiten Ebene liegen,

-- daß die Längsachsen des dritten und des vierten Endquaders und die Achse des Rohrabschnitts bzw. des Meßrohrs in der zweiten Ebene liegen,

25 -- daß das jeweilige Zwischenstück einen wesentlich kleineren Querschnitt als der jeweilige Endquader hat und

-- daß das jeweilige Fixierstück an der Rohrleitung bzw. am Meßrohr fixiert wird.

30 Nach einer jeweils zweiten Ausgestaltung der ersten und der zweiten Verfahrensvariante sowie einer weiteren Ausgestaltung der ersten Ausgestaltung wird ein gerades Meßrohr verwendet.

Nach einer jeweils dritten Ausgestaltung der ersten und der zweiten Verfahrensvariante sowie einer anderen weiteren Ausgestaltung der ersten Ausgestaltung wird ein Meßrohr mit in der ersten Ebene gebogenem Rohrabschnitt verwendet.

5

Nach einer jeweils vierten Ausgestaltung der ersten und der zweiten Verfahrensvariante sowie noch einer anderen weiteren Ausgestaltung der ersten Ausgestaltung wird ein ein Meßrohr mit in der zweiten Ebene gebogenem Rohrabschnitt verwendet.

10

Nach einer jeweils fünften Ausgestaltung der ersten und der zweiten Verfahrensvariante, welche Ausgestaltung auch bei den erwähnten weiteren Ausgestaltungen anwendbar ist, wird als Erregeranordnung ein elektrodynamischer Erreger mit seismischer Masse verwendet.

15

Eine erste Variante der Erfindung besteht in einem Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der aus einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung, in der mindestens temporär ein Fluid strömt, dadurch gebildet ist, daß

20

- an der Rohrleitung zur Definierung einer einen Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,

25

- in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung fixiert ist,

- die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten

30

- Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,

35

- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:

$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$

- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts,
5 r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts,
10 E der Elastizitätsmodul des Materials des
 Rohrabschnitts,
 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des
 Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der
 Wand des Rohrabschnitts und
 d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der
 Fluide und der Querschnittsfläche der lichten
 Weite des Rohrabschnitts bedeuten,
- von welchen Entkoppelkörpern
-- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse, eine
 dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts
 identische zweite Achse und eine zur ersten und zur
15 zweiten Achse senkrechte dritte Achse hat und
-- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse hat,
 das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen
 Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse ist, und
- ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor dort am
20 Rohrabschnitt fixiert sind, wo bei Erregung im dritten
 Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung
 stammenden Störung auftretende Verbiegung des
 Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.
- 25 Eine zweite Variante der Erfindung besteht in einem Coriolis-
 Massedurchflußaufnehmer, der aus einer vor Ort bereits fest
 installierten Rohrleitung, in der mindestens temporär ein
 Fluid strömt, dadurch gebildet ist, daß
- an der Rohrleitung zur Definierung einer einen
30 Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke ein erster und ein
 zweiter Entkoppelkörper mit identischen Massen in einem
 vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind,
 die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des
 Rohrabschnitts ist,
35 - in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung
 fixiert ist,

-- die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,

- 5 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:

$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$

-- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts,

- 10 r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts,
E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts,

15 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und

d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,

- von welchen Entkoppelkörpern

- 20 -- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse, eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse hat und

-- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse hat,

25 das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse ist, und

- am ersten Entkoppelkörper ein einlaufseitiger erster Sensorträger fixiert ist,

-- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts verläuft,

- am zweiten Entkoppelkörper ein auslaufseitiger zweiter Sensorträger fixiert ist,

-- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts verläuft, und

- 30 35 - ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor dort am ersten

5

bzw. am zweiten Sensorträger fixiert ist, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des ersten bzw. des zweiten Sensorträgers eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

10

Eine dritte Variante der Erfindung besteht in einem Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der in eine von einem Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen ist, mit einem einzigen Meßrohr,

15

- an dem zur Definierung einer einen Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,

20

- an dem in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung fixiert ist,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,

25

- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:

$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$

30

- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts, r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts,

35

- d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,

- von welchen Entkoppelkörpern
- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse, eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse hat und
- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse ist, und
- ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor dort am Rohrabschnitt fixiert sind, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

- 15 Eine vierte Variante der Erfindung besteht in einem Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der in eine von einem Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen ist, mit einem einzigen Meßrohr,
- an dem zur Definierung eines Rohrabschnitt bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,
 - an dem in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung fixiert ist,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:
- $$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$
- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts,
 - 35 r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts,
 - E der Elastizitätsmodul des Materials des

Rohrabschnitts,

d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und

5 d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,

- von welchen Entkoppelkörpern

-- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse, eine

10 dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse hat und

-- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen

15 Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse ist, und

- am ersten Entkoppelkörper ein einlaufseitiger erster Sensorträger fixiert ist,

-- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Meßrohrs verläuft,

20 - am zweiten Entkoppelkörper ein auslaufseitiger zweiter Sensorträger fixiert ist,

-- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Meßrohrs verläuft, und

- ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor bzw. ein

25 zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor dort am ersten bzw. am zweiten Sensorträger fixiert ist, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des ersten bzw. des zweiten Sensorträgers eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

Nach einer jeweils ersten Ausgestaltung der ersten, zweiten, dritten und vierten Variante der Erfindung sind

35 - die Entkoppelkörper so dimensioniert und angeordnet sind,
 -- daß der erste Entkoppelkörper besteht aus

- einem ersten Fixierstück,
- einem ersten Zwischenstück,
- einem zweiten Zwischenstück,
- einem ersten Endquader und
- 5 --- einem zweiten Endquader,
- daß der zweite Entkoppelkörper besteht aus
- einem zweiten Fixierstück,
- einem dritten Zwischenstück,
- einem vierten Zwischenstück,
- 10 --- einem dritten Endquader und
- einem vierten Endquader,
- daß eine jeweilige Längsachse der vier Endquader parallel zur Achse des Rohrabschnitts verläuft,
- daß die Längsachsen des ersten und des zweiten Endquaders
- 15 und die Achse des Rohrabschnitts in einer zur ersten Ebene senkrechten zweiten Ebene liegen,
- daß die Längsachsen des dritten und des vierten Endquaders und die Achse des Rohrabschnitts in der zweiten Ebene liegen,
- 20 -- daß das jeweilige Zwischenstück einen wesentlich kleineren Querschnitt als der jeweilige Endquader hat und
- daß das jeweilige Fixierstück an der Rohrleitung bzw. am Meßrohr fixiert ist.

- 25 Nach einer jeweils zweiten Ausgestaltung der genannten vier Varianten und einer weiteren Ausgestaltung der erwähnten ersten Ausgestaltung ist das Meßrohr gerade.

- 30 Nach einer jeweils dritten Ausgestaltung der genannten vier Varianten und einer anderen weiteren Ausgestaltung der erwähnten ersten Ausgestaltung ist das Meßrohr zwischen den Entkoppelkörpern in der ersten Ebene gebogen.

Nach einer jeweils vierten Ausgestaltung der genannten vier Varianten und noch einer anderen weiteren Ausgestaltung der erwähnten ersten Ausgestaltung ist das Meßrohr zwischen den Entkoppelkörpern in der zweiten Ebene gebogen.

5

Nach einer jeweils fünften Ausgestaltung der genannten vier Varianten und einer letzten Ausgestaltung der erwähnten ersten Ausgestaltung ist die Erregeranordnung ein elektrodynamischer Erreger mit seismischer Masse.

10

Eine fünfte Variante der Erfindung besteht in einem Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der in eine von einem Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen ist, mit einem ersten und einem zweiten Meßrohr,

15

- die parallel zueinander verlaufen,
- von denen eine jeweilige Achse in einer ersten Ebene liegt,
- die dieselben Innen- und Außen-Durchmesser sowie dieselbe Wandstärke haben,
- die aus demselben Material bestehen,

20

- an denen zur Definierung einer einen jeweiligen Rohrabschnitt der Meßrohre bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Klemmkörper mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen auf die Meßrohre aufgeklemt sind und

25

- an denen in der Mitte der Rohrabschnitte mindestens eine Erregeranordnung fixiert ist,
- die die Rohrabschnitte zu zueinander entgegengesetzten Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in der ersten Ebene mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der

30

- Fluide gefüllten Rohrabschnitten etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,

- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:

$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot (E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F))^{-1/4},$$

35

- wobei r_a der Außendurchmesser der Rohrabschnitte, r_i der Innendurchmesser der Rohrabschnitte,

E der Elastizitätsmodul des Materials der Rohrabschnitte,

d_M das Produkt aus der Dichte des Materials der Rohrabschnitte und der Querschnittsfläche der Wand der Rohrabschnitte und

d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite der Rohrabschnitte bedeuten, und

- ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor dort an den Rohrabschnitten fixiert ist, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung der Rohrabschnitte eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

15

Der Grundgedanke der Erfindung besteht darin, mittels der beiden Entkoppelkörper bzw. der beiden Klemmkörper auf der Rohrleitung bzw. auf dem Meßrohr oder den Meßrohren einen Rohrabschnitt bzw. Rohrabschnitte festzulegen, der bzw. die praktisch ausschließlich in die für das Coriolis-Meßprinzip erforderlichen Schwingungen versetzt werden kann bzw. können und auf den bzw. die sich die Schwingungen somit beschränken. Dabei sind die Entkoppelkörper bzw. die Klemmkörper ausschließlich über den Rohrabschnitt mechanisch miteinander verbunden.

Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der in Schwingungen zu versetzende Rohrabschnitt der Rohrleitung hinsichtlich seiner örtlich/räumlichen Lage und seiner Länge zwischen zwei von der Installation der Rohrleitung bereits vorgegebenen Befestigungsstellen frei ausgesucht werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß aufgrund der erfindungsgemäß gewählten großen Masse der Entkoppelkörper bzw. Klemmkörper außerhalb des Rohrabschnitts

oder der Rohrabschnitte praktisch keine Schwingungen auftreten und daß Vibrationen der Rohrleitung die Meßgenauigkeit aufgrund der erfindungsgemäß gewählten Lage der Sensorelemente praktisch nicht verschlechtern.

5

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die Übertragung der für Clamp-On-Massedurchflußmesser gefundenen Lösungsmerkmale auf Einbau-Massedurchflußaufnehmer dazu führt, daß diese mit einfacheren Mitteln hergestellt werden können; so brauchen die Entkoppelkörper bzw. Klemmkörper am Meßrohr bzw. an den Meßrohren nur, z.B. mittels Schrauben, festgeklemmt zu werden.

10

Die Erfindung wird nun anhand der Figuren der Zeichnung näher erläutert, in der Ausführungsbeispiele dargestellt sind. Funktionsgleiche Teile sind in unterschiedlichen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen, jedoch in nachfolgenden Figuren nur dann angegeben, wenn es sinnvoll erscheint.

20

Fig. 1 zeigt schematisch und in teilweise geschnittener Längsansicht als erstes Ausführungsbeispiel einen Clamp-On-Coriolis-Massedurchflußaufnehmer entsprechend der ersten Variante der Erfindung,

25

Fig. 2 zeigt die zu Fig. 1 gehörende Draufsicht,

Fig. 3 zeigt die zu Fig. 1 gehörende Seitenansicht,

30

Fig. 4 zeigt schematisch und in teilweise geschnittener Längsansicht als zweites Ausführungsbeispiel einen Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen geraden Meßrohr entsprechend der dritten Variante der Erfindung,

Fig. 5 zeigt die zu Fig. 4 gehörende Draufsicht,

Fig. 6 zeigt die zu Fig. 5 gehörende Seitenansicht,

5 Fig. 7 zeigt perspektivisch als drittes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Clamp-On-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers entsprechend einer zweiten Variante der Erfindung oder eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen geraden Meßrohr entsprechend der vierten Variante der Erfindung,

10 Fig. 8 zeigt in Draufsicht und teilweise geschnitten einen Ausschnitt von Fig. 7,

15 Fig. 9 zeigt perspektivisch als vierter Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen in der Schwingungsebene gebogenen Rohrabschnitt entsprechend der vierten Variante der Erfindung,

20 Fig. 10 zeigt perspektivisch als fünftes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen senkrecht zur Schwingungsebene gebogenen Rohrabschnitt entsprechend der vierten Variante der Erfindung,

25 Fig. 11 zeigt perspektivisch als sechstes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit zwei parallelen geraden Meßrohren entsprechend der fünften Variante der Erfindung,

5

Fig. 12 zeigt perspektivisch als siebtes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit zwei parallelen gebogenen Meßrohren,

10

Fig. 13 zeigt schematisch und in teilweise geschnittener Längsansicht einen von einem Gehäuse umhüllten Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmer entsprechend einem der Ausführungsbeispiele der Fig. 7 bis 10,

15

Fig. 14 zeigt schematisch und in teilweise geschnittener Längsansicht einen von einem Gehäuse umhüllten Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmer entsprechend dem Ausführungsbeispiel von Fig. 11 oder Fig. 12,

20

Fig. 15 zeigt einen Ausschnitt eines der Ausführungsbeispiele der Fig. 7 bis 10 mit in Richtung des Meßrohrs starrer Fixierung des Gehäuses am Meßrohr,

25

Fig. 16 zeigt einen anderen Ausschnitt eines der Ausführungsbeispiele der Fig. 7 bis 10 mit in Richtung des Meßrohrs beweglicher Fixierung des Gehäuses am Meßrohr, und

30

Fig. 17 zeigt teilweise im Schnitt den Aufbau eines elektrodynamischen Erregers mit seismischer Masse.

35

Fig. 1 zeigt in Längsansicht, Fig. 2 in zugehöriger Draufsicht und Fig. 3 in zugehöriger Seitenansicht schematisch und teilweise geschnitten als erstes Ausführungsbeispiel einen Coriolis-Massedurchflußaufnehmer

entsprechend der ersten Variante der Erfindung, wie er durch Anwendung der ersten Verfahrensviariante entstanden ist.

5 Die erste Variante dient zum Messen des Massedurchflusses von Fluiden, von den eines in einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung 1 mindestens temporär strömt. Diese Variante ist also ein Clamp-On-Coriolis-Durchflußaufnehmer.

10 Die feste Installation der Rohrleitung 1 ist in Fig. 1 durch zwei Fixiervorrichtungen 2, 3, wie z.B. zwei Rohrschellen o.ä., veranschaulicht, mit denen die Rohrleitung 1 an oder auf einer Gebäudewand oder an einem Gestell etc. fixiert worden ist. Bei den Fixiervorrichtungen 2, 3 kann es sich aber auch um ihrerseits fest fixierte Komponenten einer 15 Rohranlage, wie z.B. um Ventile, Pumpen, Verzweiger etc., handeln, in oder an der die Rohrleitung 1 fixiert worden ist.

20 Fig. 4 zeigt in Längsansicht, Fig. 5 in zugehöriger Draufsicht und Fig. 6 in zugehöriger Seitenansicht schematisch und teilweise geschnitten als zweites Ausführungsbeispiel einen Coriolis-Massedurchflußaufnehmer entsprechend einer dritten Variante der Erfindung, wie er durch Anwendung der zweiten Verfahrensviariante entstanden 25 ist.

30 Diese Variante dient zum Messen des Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines in einer nicht dargestellten Rohrleitung mindestens temporär strömt, in die die dritte Variante des Coriolis-Massedurchflußaufnehmers nach dessen Herstellung eingebaut werden kann. Diese Variante ist also ein Einbau-Coriolis-Durchflußaufnehmer. Dieser Einbau erfolgt z.B. mittels eines ersten und eines zweiten Flansches 6, 7, in denen jeweils ein Ende eines Meßrohrs 10 fixiert ist.

An der Rohrleitung 1 bzw. am Meßrohr 10 ist als Meßstrecke ein Rohrabschnitt 11 hinsichtlich seiner Länge L definiert worden. Hierzu bedient man sich der folgenden Formel:

$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4}.$$

5 Darin bedeuten:

r_a den Außendurchmesser des Rohrabschnitts,

r_i den Innendurchmesser des Rohrabschnitts,

E den Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts,

d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des

10 Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und

d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts.

15 Ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper 4, 4' bzw. 5, 5', von denen jeder dieselbe Masse wie der andere hat, sind in einem vorzugebenden gegenseitigen Abstand, der gleich der Länge L ist, von außen an der Rohrleitung 1 bzw. am Rohrstück 1' fixiert worden. Die Masse jedes Entkoppelkörper 4, 5 bzw. 20 4', 5' ist mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts 11.

Es ist hervorzuheben, daß die Entkoppelkörper 4, 5 bzw. 25 4', 5' untereinander keinerlei andere mechanische Verbindung haben als durch den Rohrabschnitt 11 selbst. In dieser

Hinsicht unterscheiden sich die Entkoppelkörper 4', 5' der dritten Variante der Erfindung von vorbeschriebenen Anordnungen, bei denen der schwingende Rohrabschnitt 11 in einem inneren Trägerrohr oder in einem Tragrahmen oder auf einer Platte fixiert ist, vgl. die EP-A 803 713 bzw. die 30 US-A 57 05 754.

In Fig. 1 ist durch Bohrungen in den Entkoppelkörpern 4, 5 angedeutet, daß diese zweckmäßigerweise aus zwei Teilen bestehen, so daß sie mittels Schrauben 23, 24 auf die 35 Rohrleitung 1 aufgespannt werden können, vgl. Fig. 3.

Demgegenüber können bei der dritten Variante der Erfindung nach den Fig. 4 bis 6 die Entkoppelkörper 4', 5' einstückig ausgebildet sein und z.B. durch Schweißen, Löten oder Hartlöten auf dem Rohrabschnitt 11 fixiert worden sein.

5

Etwa, bevorzugt genau, in der Mitte des Rohrabschnitts 11 ist eine Erregeranordnung 12 angebracht worden, die den Rohrabschnitt 11 zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts 11 enthält, erregt, was durch den eingezeichneten Doppelpfeil veranschaulicht ist. In den Fig. 1 und 4 ist diese Ebene die Zeichenebene.

10

Der dritte Schwingungsmodus ist diejenige Schwingung des Rohrabschnitts 11, bei der zwischen den Entkoppelkörpern 4, 5 bzw. 4', 5' gleichzeitig lediglich zwei Schwingungsknoten und drei Schwingungsbäuche auftreten. Der dritte Schwingungsmodus ist mit dem zweiten Oberton einer schwingenden Saite vergleichbar.

20

Demgegenüber ist der in der oben referierten US-A 53 21 991 beschriebene und von dieser benutzte zweite Schwingungsmodus diejenige Schwingung des Rohrabschnitts, bei der zwischen dessen Einspannstellen gleichzeitig nur ein einziger Schwingungsknoten und zwei Schwingungsbäuche auftreten. Der zweite Schwingungsmodus ist mit dem ersten Oberton einer Saite vergleichbar.

25

Der dritte Schwingungsmodus hat bei der Erfindung etwa die fünffache Frequenz des ersten Schwingungsmodus, der der Grund-Schwingungsmodus ist. Dieser hat einen einzigen Schwingungsbauch und einen ersten Schwingungsknoten am ersten sowie einen zweiten Schwingungsknoten am zweiten Entkoppelkörper.

Jeder Entkoppelkörper 4, 5 bzw. 4', 5' hat drei Raumachsen, die der Einfachheit halber nur in die Fig. 1 bis 3 eingezeichnet sind. Eine jeweilige erste Achse 4_x bzw. 5_x liegt in der Ebene der Schwingungen und verläuft parallel zu deren dem erwähnten Doppelpfeil entsprechenden Auslenkungsrichtung.

Eine zu den ersten Achsen 4_x , 5_x jeweils senkrechte zweite Achse 4_y bzw. 5_y ist mit der Achse des Rohrabschnitts 11 identisch. Eine jeweilige dritte Achse 4_z bzw. 5_z ist zur ersten Achse 4_x bzw. 5_x und zur zweiten Achse 4_y bzw. 5_y , also zur Achse des Rohrabschnitts 11, senkrecht.

Die Achsen 4_x , 4_y ; 5_x , 5_y sind in der Fig. 1 zu sehen und liegen in deren Zeichenebene. Die Achsen 4_y , 4_z ; 5_y , 5_z sind in Fig. 2 zu sehen und liegen in deren Zeichenebene. Die Achsen 4_x , 5_x , 4_z , 5_z sind in Fig. 3 zu sehen und liegen in deren Zeichenebene, wo sich die Achsen 4_x , 5_x bzw. 4_z , 5_z überdecken.

Jeder Entkoppelkörper 4, 5 bzw. 4', 5' ist hinsichtlich seiner geometrischen Form und Abmessungen so dimensioniert, daß er ein Flächenträgheitsmoment um seine erste Achse 4_x , 5_x aufweist, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um seine dritte Achse 4_z , 5_z ist. Daher sind in den Ausführungsbeispielen der Fig. 1 und 2 die Entkoppelkörper 4, 5 bzw. 4', 5' schmale und hohe Quader.

Ein erster und ein zweiter Sensorelement 13 bzw. 14 ist in der Schwingungsebene dort am Rohrabschnitt 11 fixiert worden, wo bei der oben erläuterten Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung 1 stammenden Störung auftretende Verbiegung des Rohrabschnitts 11 eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

Die Lage dieser Nullstellen auf dem Rohrabschnitt 11 lässt sich empirisch leicht ermitteln: Die Nullstellen liegen, wenn die Erregeranordnung 12 in der Mitte des Rohrabschnitts 11 fixiert ist, in gleichem Abstand vom Entkoppelkörper 4 bzw. 5; bei einem homogenen Meßrohr ist dieser Abstand gleich 0,21 der Länge des Rohrabschnitts. Der jeweilige Ort der Nullstellen ist nicht mit dem jeweiligen Ort der Schwingungsknoten des dritten Schwingungsmodus korreliert, d.h. diese Orte sind unabhängig voneinander.

10

Die Sensorelemente 13, 14 sind in den Fig. 1 und 4 Beschleunigungssensoren, die lediglich am Rohrabschnitt 11 angebracht zu werden brauchen. Diese Verwendung von Beschleunigungssensoren ist jedoch nicht zwingend, vgl. unten 15 die Erläuterungen der Fig. 7 bis 16 mit den dortigen Weg- oder Geschwindigkeitssensoren.

Ein Wegsensor erzeugt ein sinusförmiges Sensorsignal, dessen Phasenverschiebung zu der von der Erregeranordnung 12 bewirkten sinusförmigen Bewegung des Rohrabschnitts 11 gleich null ist.

Ein Geschwindigkeitssensor erzeugt ein sinusförmiges Sensorsignal, dessen Phasenverschiebung zu der von der Erregeranordnung 12 bewirkten sinusförmigen Bewegung des Rohrabschnitts 11 gleich 90° ist.

Ein Beschleunigungssensor erzeugt ein sinusförmiges Sensorsignal, dessen Phasenverschiebung zu der von der Erregeranordnung 12 bewirkten sinusförmigen Bewegung des Rohrabschnitts 11 gleich 180° ist.

Da somit diese sinusförmigen Sensorsignale unabhängig davon, ob sie von einem Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsensor erzeugt werden, Sinussignale sind, lässt sich aus einer durchflußbedingten gegenseitigen Phasenverschiebung

zwischen den Sinussignalen der Sensorelemente 13, 14 oder aus dem gegenseitigen zeitlichen Abstand dieser Sinussignale, also aus einer Zeitdifferenz, mittels einer üblichen Auswerte-Elektronik ein den Massedurchfluß repräsentierendes
5 Signal mit sehr guter Genauigkeit bilden.

Eine aus der Rohrleitung 1 stammende Störung bewirkt, daß die Entkoppelkörper 4, 5 in der Schwingungsebene um die dritte Achse 4_z bzw. 5_z verdreht werden. Der Rohrabschnitt 11 wird von dieser Verdrehung derart verbogen, daß die erwähnte erste und die erwähnte zweite Nullstelle auftritt; die Lage dieser beiden Nullstellen auf dem Rohrabschnitt 11 ist unabhängig von der Stärke der Verdrehung der Entkoppelkörper 4, 5 ist.
10

15 Wenn daher entsprechend der Erfindung an diesen Nullstellen die Sensorelemente 13, 14 angebracht werden, nehmen sie in der Schwingungsebene keine von Störungen stammende Signalanteile auf und geben ungestörte Sensorsignale ab. Da die Sensorelemente 13, 14 praktisch nur Bewegungen in der Schwingungsebene aufnehmen, haben von Störungen bedingte Auslenkungen des Rohrabschnitts in anderen Ebenen als den Schwingungsebenen keinen Einfluß auf die Meßsignale.
20

25 Die elektronische Erzeugung eines den Massedurchfluß repräsentierenden Signals durch Auswertung der erwähnten Phasenverschiebung kann z.B. mittels einer Schaltung erfolgen, wie sie in der US-A 56 48 616 beschrieben ist. Es sind jedoch auch andere Schaltungsanordnungen geeignet, wie z.B. die in der US-A 49 14 956 enthaltenen Schaltungen.
30

In Fig. 7 sind als drittes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Clamp-On-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers entsprechend einer zweiten Variante der Erfindung oder eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen geraden Rohrabschnitt entsprechend einer vierten Variante der
35

Erfindung perspektivisch dargestellt. Die zweite und die vierte Variante ist durch Anwendung der zweiten Verfahrensviante entstanden.

5 Beim Ausführungsbeispiel von Fig. 7 sind als Sensorelemente ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor 13' bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor 14' vorgesehen. Hierzu sind besonders elektrodynamische Sensorelemente geeignet. Da Weg- oder Geschwindigkeitssensoren einen räumlichen Fixpunkt benötigen, gegenüber dem ein Teil des Sensors beweglich ist, ist am Entkoppelkörper 4 ein einlaufseitiger erster Sensorträger 15 fixiert, von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts 11 verläuft. Am Entkoppelkörper 5 ist ein auslaufseitiger zweiter Sensorträger 16 in gleicher Weise fixiert, von dem eine Längsachse ebenfalls parallel zur Achse des Rohrabschnitts 11 verläuft.

10

15

Der am Rohrabschnitt 11 zu fixierende Teil des Sensors 13' bzw. 14' ist an der oben erwähnten Nullstelle der störungsbedingten Verbiegung befestigt. Der andere Teil des Sensors 13' bzw. 14' ist am Sensorträger 15 bzw. 16 fixiert. Dieser, insb. seine Länge und/oder sein Querschnitt, ist so bemessen, daß bei Erregung des Rohrabschnitts 11 im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung 1 stammenden Störung auftretende Verbiegung des Sensorträger 15 bzw. 16 an der Befestigungsstelle des Sensors 13' bzw. 14' eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat. Diese Bemessung läßt sich durch Versuche leicht ermitteln.

20

25

30 In Fig. 7 haben die Entkoppelkörper 4, 5 eine bevorzugte räumliche Form. Der Entkoppelkörper 4 besteht aus einem ersten Fixierstück 40, einem ersten Zwischenstück 41, einem zweiten Zwischenstück 42, einem ersten Endquader 43 und einem zweiten Endquader 44. Obwohl das zweite Zwischenstück in Fig. 7 durch das Fixierstück 40 verdeckt und somit nicht zu sehen

35

ist, ist ihm aus systematischen Gründen das Bezugszeichen 42 zugeordnet, dessen Pfeil auf die verdeckte Lage hinweist.

Der Entkoppelkörper 5 besteht aus einem zweiten Fixierstück 50, einem dritten Zwischenstück 51, einem vierten Zwischenstück 52, einem dritten Endquader 53 und einem vierten Endquader 54. Hier ist das dem Zwischenstück 42 entsprechende Zwischenstück 52 deutlich zu sehen.

Eine jeweilige Längsachse der vier Endquader 43, 44, 53, 54 verläuft parallel zur Achse des Rohrabschnitts 11. Die Längsachsen der Endquader 43, 44 und die Achse des Rohrabschnitts 11 liegen in einer zu dessen Schwingungsebene senkrechten zweiten Ebene (die Schwingungsebene ist die oben definierte erste Ebene). Die Längsachsen der Endquader 53, 54 und die Achse des Rohrabschnitts 11 liegen in der zweiten Ebene.

Die Zwischenstücke 41, 42, 51, 52 haben einen wesentlich kleineren Querschnitt als der zugehörige Endquader 43, 44, 53, 54. Die Fixierstücke 40, 50 sind an der Rohrleitung 1 bzw. am Meßrohr 10 befestigt. Hierzu werden die Fixierstücke bevorzugt so ausgebildet, daß sie durch Anziehen von zugehörigen Schrauben 20 auf der Rohrleitung bzw. auf dem Meßrohr festgeklemmt werden, vgl. die Fig. 15 und 16.

Aufgrund der Zwischenstücke gehen die Fixierstücke nicht übergangslos in die Endstücke über, sondern zwischen Fixierstück und jeweiligen Endstück befindet sich auf der Ober- und der Unterseite eine jeweilige Nut. Diese Nuten verhindern, daß Schwingungen in anderen Ebenen als der Schwingungsebene auftreten, stellen also sicher, daß der Rohrabschnitt praktisch ausschließlich in letzterer schwingt.

5

Fig. 8 zeigt in Draufsicht und teilweise geschnitten einen Ausschnitt von Fig. 7, und zwar schematisch die Form eines elektrodynamischen Sensorelements 13" mit den oben erwähnten beiden funktionellen Teilen. Der am Sensorträger 15 fixierte Teil ist eine Spule 151, in die ein am Rohrabschnitt 11 bzw. Meßrohr befestigter Dauermagnet 152 eintaucht, der aufgrund der schwingungsbedingten Rohrbewegung mehr oder weniger tief in die Spule 131 eindringt und somit darin eine Spannung induziert.

10

Da es besonders zweckmäßig ist, die beiden Sensoren 13', 14' gleichartig aufzubauen und zu dimensionieren, ist, wenn der Sensor 13' ein elektrodynamischer Sensor ist, der Sensor 14' ebenfalls ein elektrodynamischer Sensor.

15

20

In Fig. 9 sind als vierter Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen in der Schwingungsebene gebogenen Rohrabschnitt 11' entsprechend der vierten Variante der Erfindung perspektivisch dargestellt.

25

Die Schwingungsebene ist in Fig. 9 diejenige Ebene, die die Achse des Meßrohrs 10', die Längsachsen der Sensorträger 15, 16 und die Achse des Rohrabschnitts 11' enthält; diese ist zwar ebenfalls gebogen, folgt aber dem Verlauf der Rohrbiegung und liegt in der Schwingungsebene; die von der Erregeranordnung 12' bewirkten Schwingungen sind durch den Doppelpfeil angedeutet.

30

35

In Fig. 10 sind als fünftes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit einem einzigen senkrecht zur Schwingungsebene gebogenen Rohrabschnitt 11" entsprechend der vierten Variante der Erfindung perspektivisch gezeigt.

5

Hier wird wie bei Fig. 9 von der Achse des Meßrohrs 10" und den Längsachsen der Sensorträger 15, 16 eine erste Ebene bestimmt. Im Gegensatz zu Fig. 9 ist der Rohrabschnitt 11" jedoch nicht in dieser Ebene, sondern in einer dazu senkrechten zweiten Ebene gebogen, die auch die Längsachsen der Endquader 43, 44, 53, 54 enthält. Die Achse des Rohrabschnitts ist somit auch hier gebogen.

10

Die Schwingungserregung erfolgt nun so, daß von der Erregeranordnung 12" aus der Ruhelage des Rohrabschnitts 11" heraus eine Kraft parallel zur ersten Ebene ausgeübt wird, vgl. den Doppelpfeil. Somit schwingt die gebogene Achse des Rohrabschnitts 11" und somit auch die gerade erwähnte zweite Ebene um eine Drehachse, die gleich der Achse des Meßrohrs 10" ist.

15

Bei Einbau-Coriolis-Durchflußaufnehmern mit einem einzigen Meßrohr besteht dieses üblicherweise aus einem geeigneten Metall, insb. aus Titan, Zirconium oder Edelstahl.

20

25

In Fig. 11 sind als sechstes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit zwei parallelen geraden Meßrohren 101, 102 entsprechend einer fünften Variante der Erfindung perspektivisch dargestellt. Hier befinden sich Rohrabschnitte 111, 112 nicht zwischen Entkoppelkörpern, sondern zwischen Klemmkörpern 4", 5".

30

Die jeweilige Achse der Meßrohre 101, 102 liegt wieder in der ersten Ebene, die die Schwingungsebene ist und in der auch eine beiden Meßrohren gemeinsame Symmetrielinie verläuft. Die Meßrohre 101, 102 haben dieselben Innen- und Außen-Durchmesser sowie dieselbe Wandstärke und bestehen aus demselben Material, insb. Titan, Zirconium oder Edelstahl.

Die Klemmkörper 4", 5" mit identischen Massen definieren über den Abstand L entsprechend der oben angegebenen Formel wiederum die Länge der Rohrabschnitte 111, 112 und sind von außen auf die Meßrohre 101, 102 aufgeklemmt, was z.B. durch eine gegenseitige Schraubverbindung erfolgen kann, die jedoch aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt ist.

In der Mitte der Rohrabschnitte 111, 112 ist eine Erregeranordnung 12' fixiert, die die Rohrabschnitte zu zueinander entgegengesetzten Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in der ersten Ebene mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitten etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt.

Die Erregeranordnung 12' ist üblicherweise ein elektrodynamischer Erreger, der aus zwei gegeneinander beweglichen Teilen besteht. Diese können z.B. zwischen den beiden Rohrabschnitten 111, 112 angeordnet werden, so daß sich beide Teile des Erregers zur Erzeugung der Schwingungen entweder aufeinander zu oder voneinander weg bewegen. In diesem Falle ist nur ein einziger Erreger erforderlich.

Es ist jedoch auch möglich, jedem Rohrabschnitt einen eigenen Erreger derart zuzuordnen, daß der eine Rohrabschnitt in der Schwingungsebene dem anderen Rohrabschnitt an der jeweiligen vom anderen Rohrabschnitt abgewandten Außenseite gegenüberliegt. Der jeweilige nichtbewegliche Teil der Erreger ist dann an einem in Fig. 11 nicht dargestellten Gehäuse fixiert; solche Gehäuse werden noch anhand der Fig. 13 und 14 erläutert.

Ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor 131' bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor 141' ist an einer ersten bzw. zweiten Befestigungsstelle des Rohrabschnitts 111 bzw. 112 fixiert, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung

auftretende Verbiegung der Rohrabschnitte eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.

Da die Sensoren 131', 141' wiederum aus zwei gegeneinander beweglichen Teilen bestehen, können diese z.B. zwischen den beiden Rohrabschnitten 111, 112 angeordnet werden, so daß sich beide Teile der Sensoren infolge der Schwingungen entweder aufeinander zu oder voneinander weg bewegen.

Es ist jedoch auch möglich, jeder Befestigungsstelle der Rohrabschnitte einen eigenen Sensor zuzuordnen, so daß insgesamt vier Sensoren vorhanden sind. Die beiden Sensoren einer Befestigungsstelle werden dann so an den Rohrabschnitten fixiert, daß sie einander an der jeweiligen vom anderen Rohrabschnitt abgewandten Außenseite in der Schwingungsebene gegenüberliegen. Der nichtbewegliche Teil der Sensoren ist dann am erwähnten Gehäuse fixiert.

In Fig. 12 sind als siebtes Ausführungsbeispiel wesentliche Teile eines Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmers mit zwei parallelen gebogenen Meßrohren 101', 102' perspektivisch dargestellt. Auch hier befinden sich Rohrabschnitte 111', 112' nicht zwischen Entkoppelkörpern, sondern zwischen Klemmkörpern 4*, 5*.

Die gebogene Achse des Meßrohrs 101' liegt in einer Ebene und die gebogene Achse des Meßrohrs 102' in einer zu dieser Ebene parallelen Ebene. Zwischen diesen beiden Ebenen befindet sich eine Symmetrie-Ebene. Die Meßrohre 101', 102' haben dieselben Innen- und Außen-Durchmesser sowie dieselbe Wandstärke und bestehen aus demselben Material, insb. Titan, Zirconium oder Edelstahl.

Die Klemmkörper 4*, 5* mit identischen Massen definieren über den Abstand L entsprechend der oben angegebenen Formel wiederum die Länge der Rohrabschnitte 111', 112' und sind von außen auf die Meßrohre 101', 102' aufgeklemmt, was z.B. durch eine gegenseitige Schraubverbindung erfolgen kann, die jedoch aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt ist.

In der Mitte der Rohrabschnitte 111', 112' ist eine Erregeranordnung 12" fixiert, die die Rohrabschnitte zu zueinander entgegengesetzten Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitten etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt.

Es ist hervorzuheben, daß in diesem Ausführungsbeispiel keine Schwingungsebene definiert werden kann, da die Rohrabschnitte 111', 112' jeweils eine Torsionsschwingung ausführen. Die Drehachse der Torsionsschwingung des Rohrabschnitts 111' ist eine Gerade, die die Durchstoßpunkte der Achse des Rohrabschnitts 111' durch die einander zugewandten Flächen der Klemmkörper 4*, 5* verbindet. Die Drehachse der Torsionsschwingung des Rohrabschnitts 112' ist eine Gerade, die die Durchstoßpunkte der Achse des Rohrabschnitts 112' durch die einander zugewandten Flächen der Klemmkörper 4*, 5* verbindet.

Aufgrund der eben erläuterten räumlichen Zuordnung der Rohrabschnitte 111', 112' übt die Erregeranordnung 12" aus der Ruhelage heraus eine Kraft auf die Rohrabschnitte 111', 112' aus, die senkrecht zur erwähnten Symmetrie-Ebene gerichtet ist.

Die Erregeranordnung 12" ist auch hier bevorzugt ein elektrodynamischer Erreger, der aus zwei gegeneinander beweglichen Teilen besteht. Diese können z.B. zwischen den beiden Rohrabschnitten 111', 112' angeordnet werden, so daß

sich beide Teile des Erregers zur Erzeugung der Schwingungen entweder aufeinander zu oder voneinander weg bewegen. In diesem Falle ist nur ein einziger Erreger erforderlich.

5 Es ist jedoch auch möglich, jedem Rohrabschnitt einen eigenen Erreger derart zuzuordnen, daß der eine Rohrabschnitt in der Schwingungsebene dem anderen Rohrabschnitt an der jeweiligen vom anderen Rohrabschnitt abgewandten Außenseite gegenüberliegt. Der jeweilige nichtbewegliche Teil der
10 Erreger ist dann wie bei Fig. 11 an einem nicht dargestellten Gehäuse fixiert, vgl. Fig. 13 und 14.

Ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor 131" bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor 141" ist an einer
15 ersten bzw. zweiten Befestigungsstelle des Rohrabschnitts 111' bzw. 112' dort fixiert, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung der Rohrabschnitte eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat.
20

Da die Sensoren 131", 141" wiederum aus zwei gegeneinander beweglichen Teilen bestehen, können diese z.B. zwischen den beiden Rohrabschnitten 111', 112' angeordnet werden, so daß sich beide Teile der Sensoren infolge der Schwingungen
25 entweder aufeinander zu oder voneinander weg bewegen.

Es ist jedoch auch möglich, jeder Befestigungsstelle der Rohrabschnitte einen eigenen Sensor zuzuordnen, so daß insgesamt vier Sensoren vorhanden sind. Die beiden Sensoren einer Befestigungsstelle werden dann so an den Rohrabschnitten fixiert, daß sie einander an der jeweiligen vom anderen Rohrabschnitt abgewandten Außenseite in der Schwingungsebene gegenüberliegen. Der nichtbewegliche Teil der Sensoren ist dann am erwähnten Gehäuse fixiert.
30

In Fig. 13 ist schematisch und in teilweise geschnittener Längsansicht ein von einem Gehäuse 17 umhüllter Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmer entsprechend einem der Ausführungsbeispiele der Fig. 7 bis 10 dargestellt.

5

Das Gehäuse 17 kann die Form eines Trägerrohrs 171 haben, das an seinen Enden von einer jeweiligen Endplatte 172 bzw. 173 verschlossen ist, in denen das Meßrohr 10 fixiert ist. Außerhalb der Endplatten 172, 173 erfolgt der Anschluß an die Rohrleitung auf übliche Weise. Da es hierfür mehrere Möglichkeiten gibt, wie z.B. Flansche, Schraubverbindungen, Clampverbindungen, ist die Art des Anschlusses in Fig. 13. nicht näher spezifiziert.

10

An das Gehäuse 17 ist über einen Stutzen 18 ein Elektronik-Gehäuse 19 angebaut, in dem eine übliche Bedien-, Antriebs-, Auswerte- und Anzeige-Elektronik untergebracht ist.

15

In Fig. 14 ist schematisch und in teilweise geschnittener Längsansicht ein von einem Gehäuse 17' umhüllter Einbau-Coriolis-Massedurchflußaufnehmer entsprechend dem Ausführungsbeispiel von Fig. 11 oder 12 dargestellt.

20

Das Gehäuse 17' hat die Form eines Trägerrohrs 171', das an seinen Enden von einer jeweiligen Endkalotte 174 bzw. 175 verschlossen ist, an die jeweils ein Flansch 176 bzw. 177 angeformt ist. Die beiden Meßrohre 101, 102 sind über ein jeweiliges Verteilerstück 178 bzw. 179 mit der Endkalotte 174 bzw. 175 und dem Flansch 176 bzw. 177 verbunden. Mittels der Flansche 176, 177 erfolgt der Anschluß an die Rohrleitung auf übliche Weise.

25

Obwohl die Verteilerstücke 178, 179 in Fig. 13 trichterförmig dargestellt sind, also mit einem stetigen Übergang von den zwei Meßrohren 101, 102 auf die Nennweite der Rohrleitung,

ist diese Ausbildung nicht zwingend. Es ist ebenso üblich, die Meßrohre am rohrleitungsseitigen Ende bündig münden zu lassen, vgl. die US-A 56 02 345.

- 5 An das Gehäuse 17' ist über einen Stutzen 18' ein Elektronik-Gehäuse 19' angebaut, in dem eine übliche Bedien-, Antriebs-, Auswerte- und Anzeige-Elektronik untergebracht ist.
- 10 In Fig. 15 ist ein Ausschnitt von Fig. 13 mit in Richtung des Meßrohrs 10 starrer Fixierung des Gehäuses am Meßrohr 10 dargestellt, wie oben schon kurz erwähnt wurde. In Fig. 15 sind zunächst vier Schrauben 20 zu sehen, die wie erwähnt dazu dienen, das Fixierstück 40 am Meßrohr 10 von außen festzuklemmen.
- 15

Die starre Fixierung von Endplatte 172 und Meßrohr 10 wird üblicherweise durch Löten, Hartlöten oder Schweißen erzielt und meist angewandt, wenn das Meßrohr aus Zirconium oder Titan, das Gehäuse 17 aus Edelstahl besteht, vgl. die angedeuteten Schweißnähte. Dasselbe gilt natürlich auch für die Endplatte 173 von Fig. 13, die in Fig. 15 nicht zu sehen ist. Es ist auch möglich, die Endplatten 172, 173 auf das Meßrohr 10 aufzuschrumpfen.

25 Die erwähnte starre Fixierung ist bei Titan oder Zirconium möglich, weil die thermisch bedingte Längenänderung jedes dieser beiden Materialien im Vergleich zu Edelstahl gering ist. Bei starrer Fixierung kann eine Temperaturdifferenz von bis zu 200 °C zwischen einem Titan- oder Zirconium-Meßrohr und einem Edelstahl-Gehäuse zugelassen werden.

30
35 Fig. 16 zeigt einen anderen Ausschnitt von Fig. 13 mit in Richtung des Meßrohrs beweglicher Fixierung des Gehäuses 17 am Meßrohr 10. Hier bestehen sowohl das Meßrohr 10 als auch

das Gehäuse 17 aus Edelstahl. Wegen des im Vergleich zu Titan oder Zirconium etwa doppelt so großen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Edelstahl und wegen der im Vergleich zu Titan oder Zirconium etwa nur halb so großen mechanischen Festigkeit von Edelstahl würde sich die zulässige Temperaturdifferenz bei starrer Fixierung eines Edelstahl-Meßrohrs an einem Edelstahl-Gehäuse auf etwa ein Viertel des obigen Wertes, also auf etwa 50 °C reduzieren. Ein derartiger Durchflußaufnehmer wäre aber nicht marktfähig.

Es ist daher erforderlich, das Meßrohr 10 gegenüber der Endplatte 172 in Richtung seiner Achse beweglich zu fixieren. Hierzu sind im Ausführungsbeispiel der Fig. 16 zwei O-Ringe 25, 26 vorgesehen, die in die Wand der Bohrung der Endplatte 172 eingelassen sind, durch die das Meßrohr 10 sich erstreckt. Dasselbe gilt natürlich auch für die Endplatte 173 von Fig. 13, die in Fig. 16 nicht zu sehen ist.

In Fig. 17 ist teilweise im Schnitt der Aufbau eines elektrodynamischen Erregers 120 mit seismischer Masse 121 vergrößert dargestellt, wie er bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 1 bis 10 bevorzugt eingesetzt wird.

Der Erreger 120 umfaßt eine erste und eine zweite Klemmbacke 121, 122, mit denen der Erreger 120 auf dem Meßrohr 10 festgeklemmt wird. Dieses Festklemmen wird mittels Schraubenbolzen 123, 124 und zugehörigen Muttern erreicht.

Auf der meßrohr-abgewandten Seite der Klemmbacke 121 ist ein Magnetbecher 125 mit einem zentralen Permanentmagneten 126 befestigt. Dieser taucht in eine Spule 127 ein, die an der einen Seite eines ersten Federblechs 128 fixiert ist. Die seismische Masse 130 ist einerseits auf der anderen Seite des Federblechs 128 und andererseits an einem zweiten Federblech 129 befestigt. Die Federbleche 128, 129 sind ferner an den

Schraubenbolzen 123, 124 fixiert, so daß die seismische Masse 130 zwischen den Federblechen 128, 129 eingespannt und mit diesen zusammen schwingfähig ist. Wird die Spule 127 nun mit einem Wechselstrom gespeist, so übertragen sich die 5 Bewegungen der Spule 127 gegenüber dem Magnetbecher 125 auf das Meßrohr 10, so daß es schwingt.

Bei der Bemessung der Resonanzeigenschaften des die 10 seismische Masse 130, die Federbleche 128, 129 und die Spule 127 umfassenden Schwingsystems ist in einem konkreten Anwendungsfall zwischen sogenannter Hochabstimmung und sogenannter Tiefabstimmung zu wählen.

Tiefabstimmung bedeutet, daß der Erreger 120 eine mechanische 15 Resonanzfrequenz hat, die kleiner als ein Drittel der Frequenz f des jeweiligen Rohrabschnitts im dritten Schwingungsmodus ist. Eine derartige Bemessung ergibt zwar einen optimalen Erreger-Wirkungsgrad, der Erreger ist jedoch 20 Quelle von tiefen Frequenzen, die das Gesamt-Vibrationsverhalten des Coriolis-Durchflußaufnehmer ungünstig beeinflussen können.

Hochabstimmung bedeutet, daß der Erreger 120 eine mechanische 25 Resonanzfrequenz hat, die größer als das 1,5-fache der Frequenz f des Rohrabschnitts im dritten Schwingungsmodus ist. Hier ist der Erreger-Wirkungsgrad zwar nicht optimal, jedoch akzeptierbar, das Problem tiefer Frequenzen tritt nicht auf, und der Gesamtaufbau des Erregers wird kompakter als bei Tiefabstimmung.

30

Bei Einbau-Einrohr-Coriolis-Durchflußaufnehmern entsprechend den Fig. 7 bis 10, 13, 15 und 16 beträgt, wenn der jeweilige Sensorträger aus demselben Material wie das Meßrohr besteht 35 sowie denselben Durchmesser und dieselbe Wandstärke wie dieses hat, die Länge des aus dem zugehörigen Entkoppelkörper

vorstehenden Teils des jeweiligen Sensorträgers 3/10 der Länge des Rohrabschnitts, unabhängig von dessen Länge.

Die in den Figuren der Zeichnung dargestellten Rohrleitungen, Meßrohre und Rohrabschnitte sind selbstverständlich wie üblich kreiszylindrisch. Die in den vorläufigen Figuren vieleckige Darstellung beruht lediglich darauf, daß diese Figuren mit einem Computersystem erstellt wurden, das Kreise nur als Vielecke darstellen kann.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

5

1. Nach dem Coriolisprinzip arbeitendes Verfahren zum Messen des Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines mindestens temporär in einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung (1) oder in einem in eine Rohrleitung einzusetzenden einzigen Meßrohr (10) strömt, wobei
 - an der Rohrleitung bzw. am Meßrohr zur Definierung einer einen Rohrabschnitt (11, 11', 11'') bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4, 5; 4', 5') mit identischen Massen in einem Abstand L voneinander von außen fixiert werden, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts sind,
 - in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung (12) angebracht wird,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet wird:
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$
 - wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts, r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts,
 - d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und
 - d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,

- von welchen Entkoppelkörpern (4, 5; 4', 5')
 - jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse (4_x , 5_x), eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse (4_y , 5_y) und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse (4_z , 5_z) hat und
 - jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse (4_x , 5_x) hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse (4_z , 5_z) ist,
 - ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor (13, 14) dort am Rohrabschnitt (11) bzw. am Meßrohr (10) fixiert werden, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung (1) stammenden Störung auftretende Verbiegung des Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat,
 - eine Phasenverschiebung oder eine Zeitdifferenz zwischen einem vom ersten Beschleunigungssensor (13) abgegebenen ersten Sensorsignal und einem vom zweiten Beschleunigungssensor (14) abgegebenen zweiten Sensorsignal bestimmt wird und
 - daraus ein dem Massedurchfluß proportionales Signal erzeugt wird.
- 25
2. Nach dem Coriolisprinzip arbeitendes Verfahren zum Messen des Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines mindestens temporär in einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung (1) oder in einem in eine Rohrleitung einzusetzenden einzigen Meßrohr (10) strömt, wobei
- an der Rohrleitung bzw. am Meßrohr zur Definierung einer einen Rohrabschnitt (11, 11', 11'') bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4, 5; 4', 5') mit identischen Massen in einem Abstand L voneinander von außen fixiert werden, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts sind,

- in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung (12) angebracht wird,
- die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet wird:
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$
- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts, r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts, d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,
- von welchen Entkoppelkörpern (4, 5; 4', 5')
- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse (4_x , 5_x), eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse (4_y , 5_y) und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse (4_z , 5_z) hat und
- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse (4_x , 5_x) hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse (4_z , 5_z) ist,
- am ersten Entkoppelkörper (4) ein einlaufseitiger erster Sensorträger (15) fixiert wird,
- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts (11) bzw. des Meßrohrs (10) verläuft,
- am zweiten Entkoppelkörper (5) ein auslaufseitiger zweiter Sensorträger (16) fixiert wird,

- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Rohrabschnitts (11) bzw. des Meßrohrs (10) verläuft,
- ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor (13') bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor (14') dort am ersten bzw. am zweiten Sensorträger (15, 16) fixiert werden, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung (1) stammenden Störung auftretende Verbiegung des ersten bzw. des zweiten Sensorträgers eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat,
- 5 - eine Phasenverschiebung oder eine Zeitdifferenz zwischen einem vom ersten Sensor (13') abgegebenen ersten Sensorsignal und einem vom zweiten Sensor (14') abgegebenen zweiten Sensorsignal bestimmt wird und
- 10 - daraus ein dem Massedurchfluß proportionales Signal erzeugt wird.
- 15

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem
- der erste und der zweite Entkoppelkörper (4, 5; 4', 5') so dimensioniert und angeordnet werden,
- 20 -- daß der erste Entkoppelkörper (4; 4') besteht aus
- einem ersten Fixierstück (40),
- einem ersten Zwischenstück (41),
- einem zweiten Zwischenstück (42),
- 25 ---- einem ersten Endquader (43) und
- einem zweiten Endquader (44),
- daß der zweite Entkoppelkörper (5; 5') besteht aus
- einem zweiten Fixierstück (50),
- einem dritten Zwischenstück (51),
- 30 ---- einem vierten Zwischenstück (52),
- einem dritten Endquader (53) und
- einem vierten Endquader (54),
- daß eine jeweilige Längsachse der vier Endquader (43, 44, 53, 54) parallel zur Achse des Rohrabschnitts (11)
- 35 verläuft,

- daß die Längsachsen des ersten und des zweiten Endquaders (43, 44) und die Achse des Rohrabschnitts (11) in einer zur ersten Ebene senkrechten zweiten Ebene liegen,
- daß die Längsachsen des dritten und des vierten Endquaders 5 (53, 54) und die Achse des Rohrabschnitts (11) in der zweiten Ebene liegen,
- daß das jeweilige Zwischenstück (41, 42, 51, 52) einen wesentlich kleineren Querschnitt als der jeweilige Endquader (43, 44, 53, 54) hat und
- 10 -- daß das jeweilige Fixierstück (40, 50) an der Rohrleitung (1) bzw. am Meßrohr (10) fixiert wird.

15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem ein gerades Meßrohr (10) verwendet wird.

20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem ein Meßrohr (10') mit einem in der ersten Ebene gebogenen Rohrabschnitt (11') verwendet wird.

25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem ein Meßrohr (10") mit einem in der zweiten Ebene gebogenen Rohrabschnitt (11") verwendet wird.

30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem als Erregeranordnung ein elektrodynamischer Erreger (120) mit seismischer Masse (130) verwendet wird.

35 8. Nach dem Coriolis-Prinzip arbeitendes Verfahren zum Messen des Massedurchflusses von Fluiden, von denen eines mindestens temporär in einem ersten und in einem zweiten Meßrohr (101, 102; 101', 102') strömt,

- die in eine Rohrleitung (1) einzusetzen sind,
- die parallel zueinander verlaufen,
- von denen eine jeweilige Achse in einer ersten Ebene liegt,
- die dieselben Innen- und Außen-Durchmesser sowie dieselbe
5 Wandstärke haben,
- die aus demselben Material bestehen,
- an denen zur Definierung einer einen jeweiligen Rohrabschnitt (111, 112; 111', 112') der Meßrohre bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Klemmkörper (4", 5";
10 4*, 5*) mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen auf die Meßrohre aufgeklemmt werden und
- an denen in der Mitte der Rohrabschnitte mindestens eine Erregeranordnung (12'; 12") fixiert wird,
15 -- die die Rohrabschnitte zu zueinander entgegengesetzten Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in der ersten Ebene mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitten etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
- 20 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet wird.
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$
-- wobei r_a der Außendurchmesser der Rohrabschnitte,
r_i der Innendurchmesser der Rohrabschnitte,
E der Elastizitätsmodul des Materials der
25 Rohrabschnitte,
 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials der Rohrabschnitte und der Querschnittsfläche der Wand der Rohrabschnitte und
 d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite der Rohrabschnitte bedeuten, und
30 - ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor (131'; 131") bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor (141'; 141") dort an den Rohrabschnitten fixiert wird, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus
35 der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung

- der Rohrabschnitte eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat,
- eine Phasenverschiebung oder eine Zeitdifferenz zwischen einem vom ersten Sensor abgegebenen ersten Sensorsignal und einem vom zweiten Sensor abgegebenen zweiten Sensorsignal bestimmt wird und
 - daraus ein dem Massedurchfluß proportionales Signal erzeugt wird.
- 10
9. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der aus einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung (1), in der mindestens temporär ein Fluid strömt, dadurch gebildet ist, daß
- an der Rohrleitung (1) zur Definierung einer einen Rohrabschnitt (11) bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4, 5) mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,
 - in der Mitte des Rohrabschnitts (11) eine Erregeranordnung (12) fixiert ist,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:
- $$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4},$$
- 30
- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts, r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts, d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und

d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,

- von welchen Entkoppelkörpern (4, 5)
- 5 -- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse (4_x , 5_x), eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse (4_y , 5_y) und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse (4_z , 5_z) hat und
- 10 -- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse (4_x , 5_x) hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse (4_z , 5_z) ist, und
- ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor (13, 14) dort am Rohrabschnitt (11) fixiert sind, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat (Fig. 1 bis 3).

20

10. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der aus einer vor Ort bereits fest installierten Rohrleitung (1), in der mindestens temporär ein Fluid strömt, dadurch gebildet ist, daß
- 25 - an der Rohrleitung (1) zur Definierung einer einen Rohrabschnitt (11) bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4, 5) mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,
 - in der Mitte des Rohrabschnitts (11) eine Erregeranordnung (12) fixiert ist,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt,

die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,

- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:
5 $L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4}$,
-- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts,
 r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts,
 E der Elastizitätsmodul des Materials des
 Rohrabschnitts,
10 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des
 Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der
 Wand des Rohrabschnitts und
 d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der
 Fluide und der Querschnittsfläche der lichten
15 Weite des Rohrabschnitts bedeuten,
- von welchen Entkoppelkörpern (4, 5)
-- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse (4_x ,
 5_x), eine dazu senkrechte, mit der Achse des
 Rohrabschnitts identische zweite Achse (4_y , 5_y) und eine
20 zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse
 (4_z , 5_z) hat und
-- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse (4_x ,
 5_x) hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als
 dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse (4_z ,
25 5_z) ist, und
- am ersten Entkoppelkörper (4) ein einlaufseitiger erster
 Sensorträger (15) fixiert ist,
-- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des
 Rohrabschnitts (11) verläuft,
- 30 - am zweiten Entkoppelkörper (5) ein auslaufseitiger zweiter
 Sensorträger (16) fixiert ist,
-- von dem eine Längsachse parallel zur Achse des
 Rohrabschnitts (11) verläuft, und
- ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor (13') bzw. ein
35 zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor (14') dort am
 ersten bzw. am zweiten Sensorträger fixiert ist, wo bei

Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des ersten bzw. des zweiten Sensorträgers eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat (Fig. 7).

5

11. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der in eine von einem Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen ist, mit einem einzigen Meßrohr (10),
10 - an dem zur Definierung einer einen Rohrabschnitt (11) bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4', 5') mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,
15 - an dem in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung (12) fixiert ist,
-- die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
20 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:
25
$$L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot (E(r_a^4 - r_i^4)/(d_M + d_F))^{-1/4},$$
-- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts, r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts, E der Elastizitätsmodul des Materials des Rohrabschnitts,
30 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der Wand des Rohrabschnitts und d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten Weite des Rohrabschnitts bedeuten,

- von welchen Entkoppelkörpern (4', 5')
- jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse (4_x , 5_x), eine dazu senkrechte, mit der Achse des Rohrabschnitts identische zweite Achse (4_y , 5_y) und eine zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse (4_z , 5_z) hat und
- jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse (4_x , 5_x) hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse (4_z , 5_z) ist, und
- ein erster und ein zweiter Beschleunigungssensor (13, 14) dort am Rohrabschnitt fixiert sind, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung des Rohrabschnitts eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat (Fig. 4 bis 6).

12. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der in eine von einem Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen ist, mit einem einzigen Meßrohr (10),
- an dem zur Definierung einer einen Rohrabschnitt (11) bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Entkoppelkörper (4', 5') mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen fixiert sind, die mindestens fünfmal so groß wie die Masse des Rohrabschnitts ist,
 - an dem in der Mitte des Rohrabschnitts eine Erregeranordnung (12) fixiert ist,
 - die den Rohrabschnitt zu Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in einer ersten Ebene, die eine Achse des Rohrabschnitts enthält, mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der Fluide gefüllten Rohrabschnitt etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,
 - welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:

- $L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot (E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F))^{-1/4}$,
- wobei r_a der Außendurchmesser des Rohrabschnitts,
 r_i der Innendurchmesser des Rohrabschnitts,
E der Elastizitätsmodul des Materials des
5 Rohrabschnitts,
 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials des
Rohrabschnitts und der Querschnittsfläche der
Wand des Rohrabschnitts und
 d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der
10 Fluide und der Querschnittsfläche der lichten
Weite des Rohrabschnitts bedeuten,
- von welchen Entkoppelkörpern (4', 5')
 - jeder eine in der ersten Ebene liegende erste Achse (4_x ,
15 5_x), eine dazu senkrechte, mit der Achse des
Rohrabschnitts identische zweite Achse (4_y , 5_y) und eine
zur ersten und zur zweiten Achse senkrechte dritte Achse
(4_z , 5_z) hat und
 - jeder ein Flächenträgheitsmoment um die erste Achse (4_x ,
20 5_x) hat, das um mindestens eine Größenordnung kleiner als
dessen Flächenträgheitsmoment um die dritte Achse (4_z ,
 5_z) ist, und
 - am ersten Entkoppelkörper (4') ein einlaufseitiger erster
Sensorträger (15) fixiert ist,
 - von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Meßrohrs
25 (10) verläuft,
 - am zweiten Entkoppelkörper (5') ein auslaufseitiger zweiter
Sensorträger (16) fixiert ist,
 - von dem eine Längsachse parallel zur Achse des Meßrohrs
(10) verläuft, und
 - 30 - ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor (13') bzw. ein
zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor (14') dort am
ersten bzw. am zweiten Sensorträger fixiert ist, wo bei
Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus
der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung
35 des ersten bzw. des zweiten Sensorträgers eine erste bzw.
eine zweite Nullstelle hat (Fig. 7).

13. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei dem
- die Entkoppelkörper (4', 5') so dimensioniert und angeordnet sind,
 - 5 -- daß der erste Entkoppelkörper (4') besteht aus
 - einem ersten Fixierstück (40),
 - einem ersten Zwischenstück (41),
 - einem zweiten Zwischenstück (42),
 - einem ersten Endquader (43) und
 - 10 --- einem zweiten Endquader (44),
 - daß der zweite Entkoppelkörper (5') besteht aus
 - einem zweiten Fixierstück (50),
 - einem dritten Zwischenstück (51),
 - einem vierten Zwischenstück (52),
 - 15 --- einem dritten Endquader (53) und
 - einem vierten Endquader (54),
 - daß eine jeweilige Längsachse der vier Endquader (43, 44, 53, 54) parallel zur Achse des Rohrabschnitts (11) verläuft,
 - 20 -- daß die Längsachsen des ersten und des zweiten Endquaders (43, 44) und die Achse des Rohrabschnitts (11) in einer zur ersten Ebene senkrechten zweiten Ebene liegen,
 - daß die Längsachsen des dritten und des vierten Endquaders (53, 54) und die Achse des Rohrabschnitts in der zweiten 25 Ebene liegen,
 - daß das jeweilige Zwischenstück (41, 42, 51, 52) einen wesentlich kleineren Querschnitt als der jeweilige Endquader (43, 42, 53, 54) hat und
 - daß das jeweilige Fixierstück (40, 50) an der Rohrleitung 30 (1) bzw. am Meßrohr (10) fixiert ist.

14. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer nach einem der Ansprüche 9 bis 13, bei dem das Meßrohr gerade ist.

15. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer nach einem der Ansprüche 9 bis 13, bei dem das Meßrohr zwischen den Entkoppelkörpern (4, 4'; 5, 5') in der ersten Ebene gebogen ist.

5

16. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer nach einem der Ansprüche 9 bis 13, bei dem das Meßrohr zwischen den Entkoppelkörpern (4, 4'; 5, 5') in der zweiten Ebene gebogen ist.

10

17. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei dem die Erregeranordnung ein elektrodynamischer Erreger (120) mit seismischer Masse (130) ist.

15

18. Coriolis-Massedurchflußaufnehmer, der in eine von einem Fluid mindestens temporär durchströmte Rohrleitung einzusetzen ist, mit einem ersten und einem zweiten Meßrohr (101, 102; 101', 102'),

20

- die parallel zueinander verlaufen,
- von denen eine jeweilige Achse in einer ersten Ebene liegt,
- die dieselben Innen- und Außen-Durchmesser sowie dieselbe Wandstärke haben,
- die aus demselben Material bestehen,

25

- an denen zur Definierung einer einen jeweiligen Rohrabschnitt (111, 112; 111', 112') der Meßrohre bildenden Meßstrecke ein erster und ein zweiter Klemmkörper (4", 5"; 4*, 5*) mit identischen Massen in einem vorzugebenden Abstand L voneinander von außen auf die Meßrohre

30

- aufgeklemmt sind und
- an denen in der Mitte der Rohrabschnitte mindestens eine Erregeranordnung (12'; 12") fixiert ist,
- die die Rohrabschnitte zu zueinander entgegengesetzten Schwingungen eines dritten Schwingungsmodus in der ersten Ebene mit einer Frequenz f erregt, die bei mit einem der

Fluide gefüllten Rohrabschnitten etwa zwischen 500 Hz und 1000 Hz liegt,

- welcher Abstand L nach der folgenden Formel berechnet worden ist:

5 $L = 5,5 \cdot 2^{1/2} \cdot (2\pi f)^{-1/2} \cdot \{E(r_a^4 - r_i^4) / (d_M + d_F)\}^{-1/4}$,

-- wobei r_a der Außendurchmesser der Rohrabschnitte,

r_i der Innendurchmesser der Rohrabschnitte,

E der Elastizitätsmodul des Materials der Rohrabschnitte,

10 d_M das Produkt aus der Dichte des Materials der Rohrabschnitte und der Querschnittsfläche der Wand der Rohrabschnitte und

d_F das Produkt aus der mittleren Dichte der Fluide und der Querschnittsfläche der lichten

15 Weite der Rohrabschnitte bedeuten, und

- ein erster Weg- oder Geschwindigkeitssensor (131'; 131'') bzw. ein zweiter Weg- oder Geschwindigkeitssensor (141'; 141'') dort zwischen den Rohrabschnitten fixiert ist, wo bei Erregung im dritten Schwingungsmodus eine infolge einer aus der Rohrleitung stammenden Störung auftretende Verbiegung der Rohrabschnitte eine erste bzw. eine zweite Nullstelle hat (Fig. 11 und 12).

1 / 9

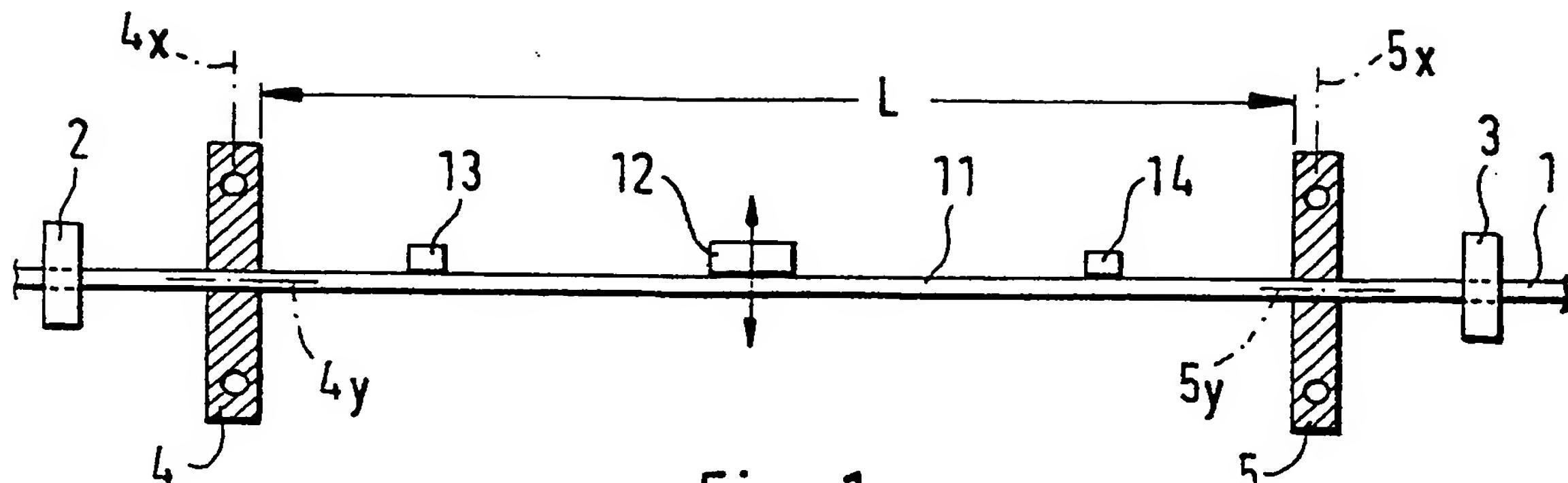


Fig. 1

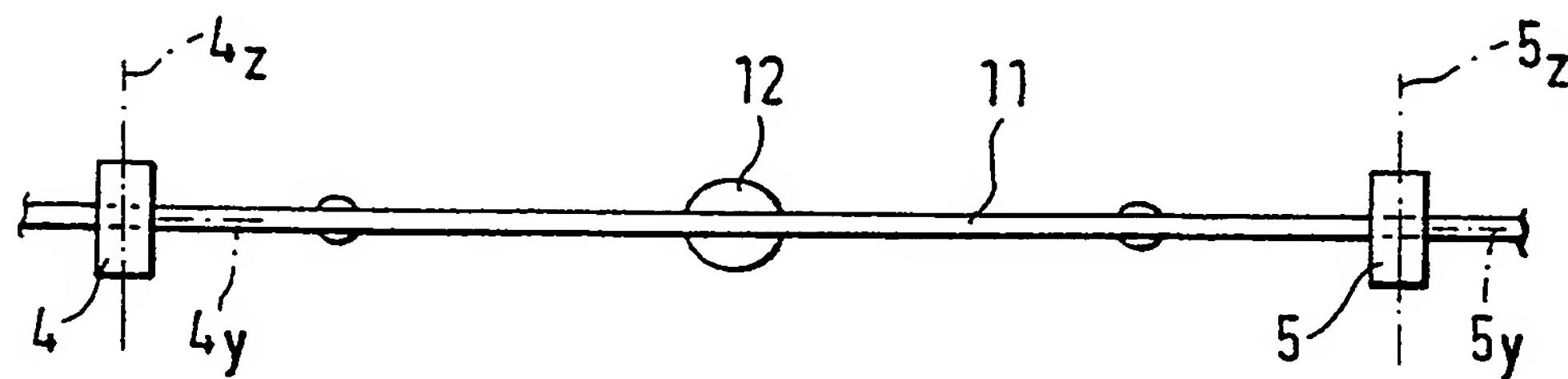


Fig. 2

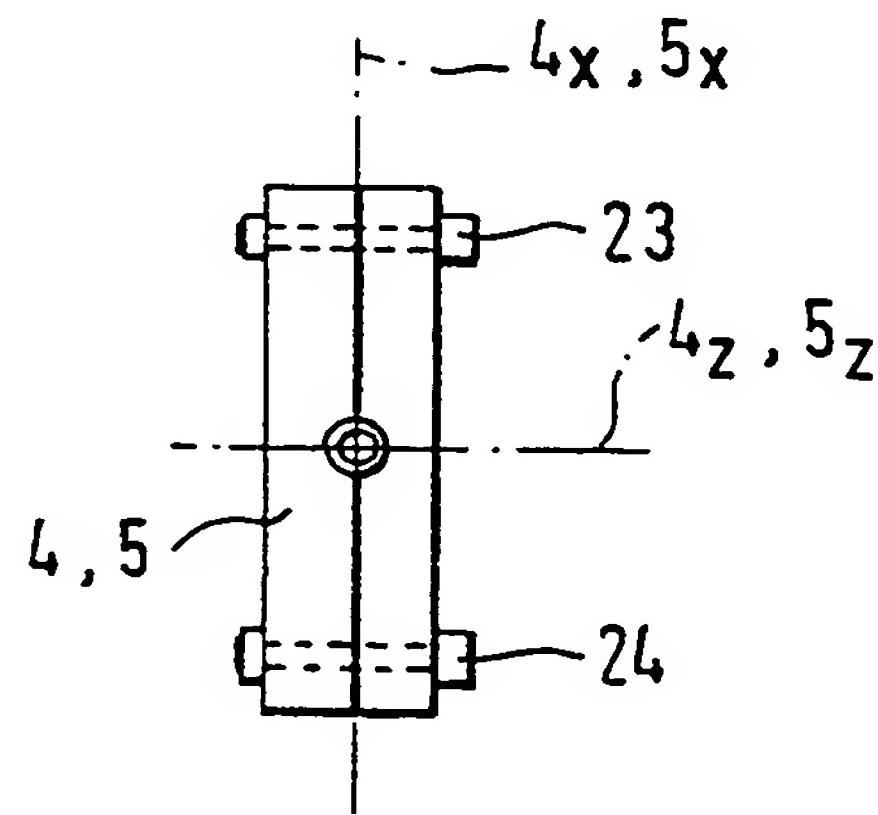


Fig. 3

2 / 9

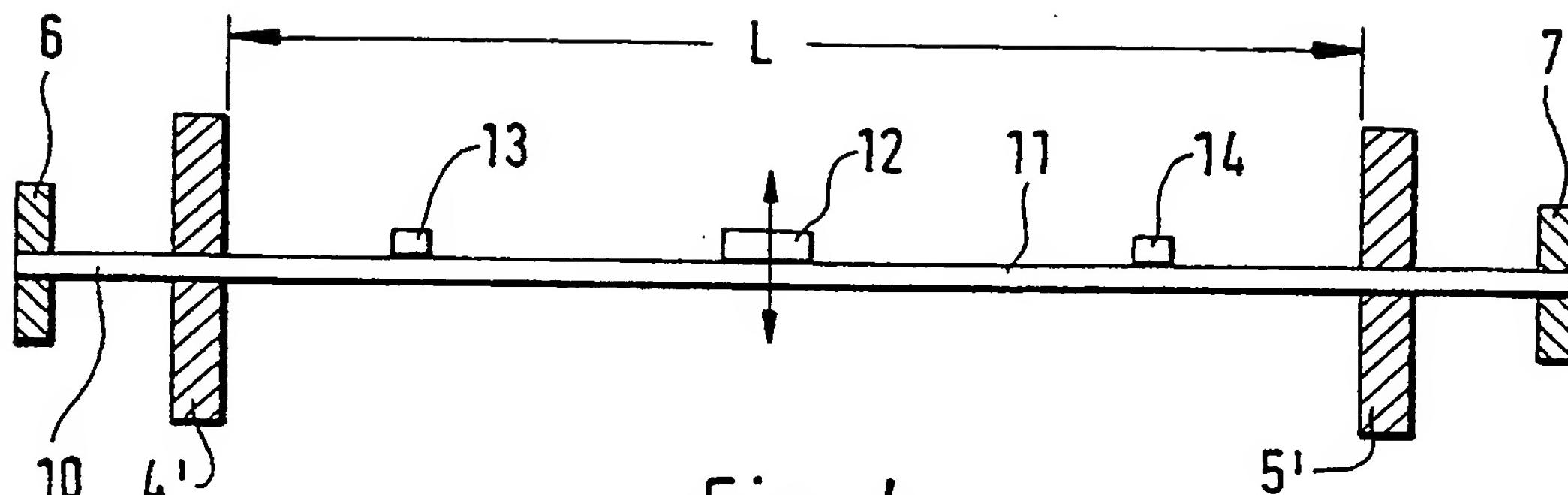


Fig. 4

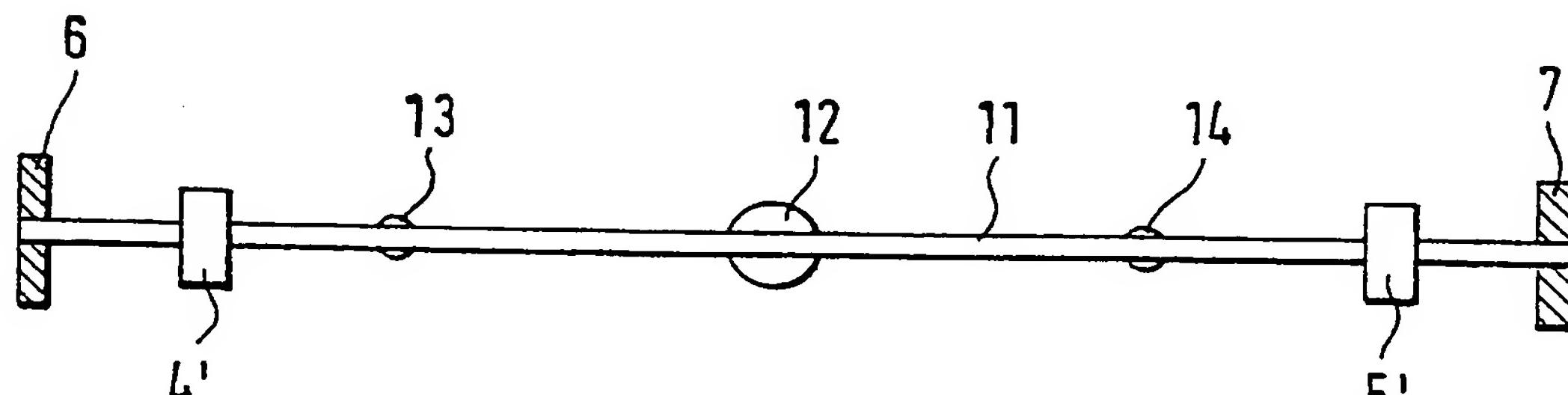


Fig. 5

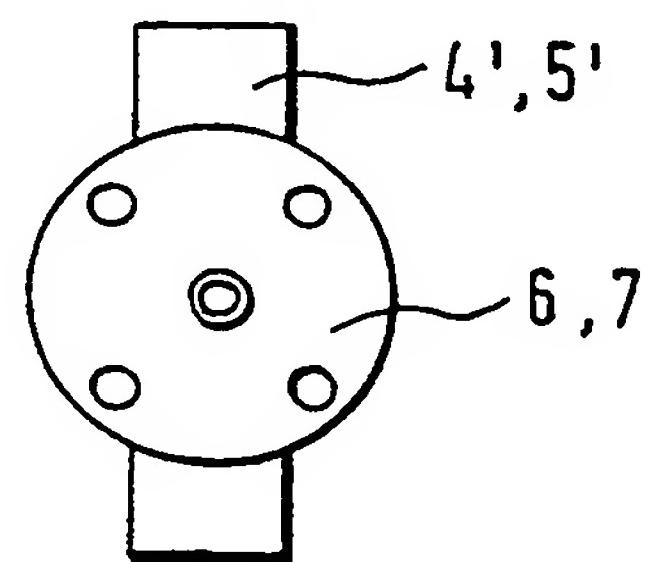


Fig. 6

3 / 9

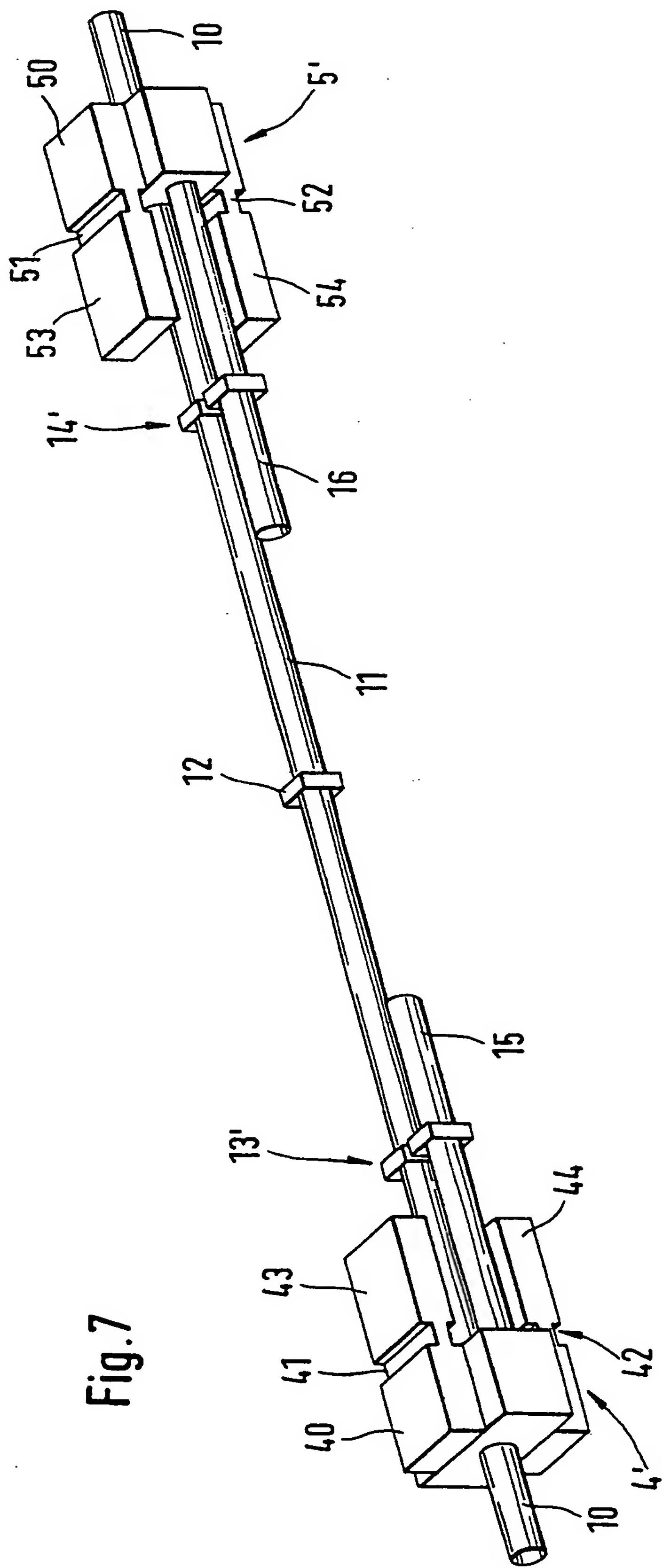
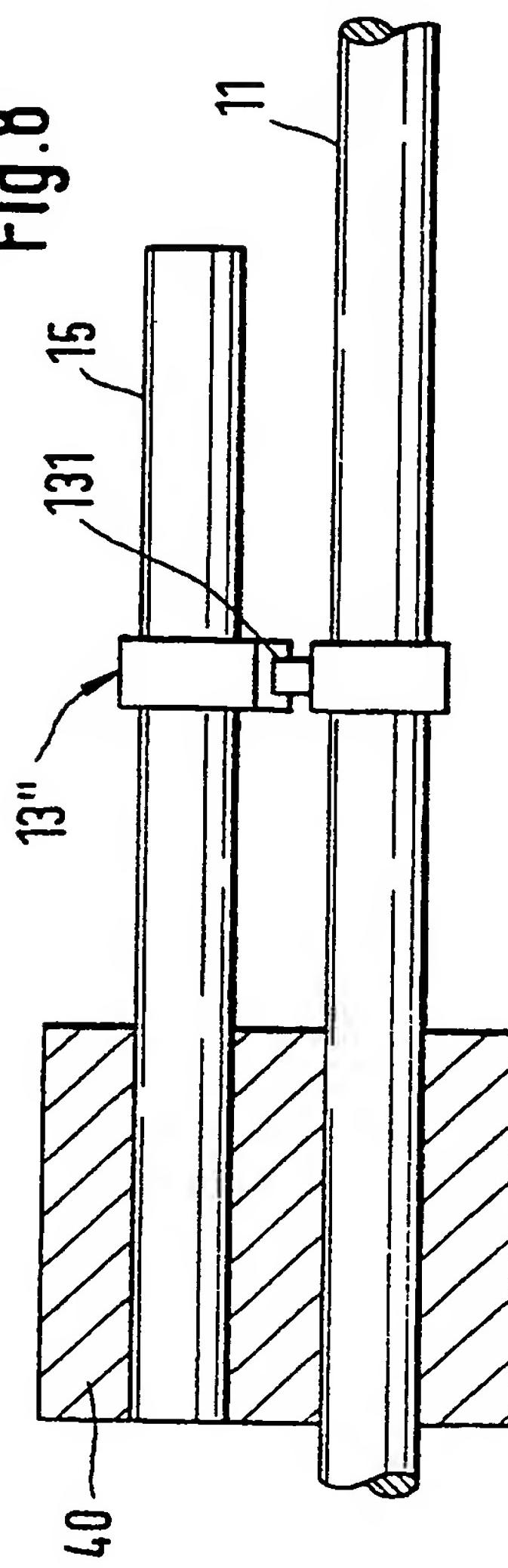


Fig. 8



4/9

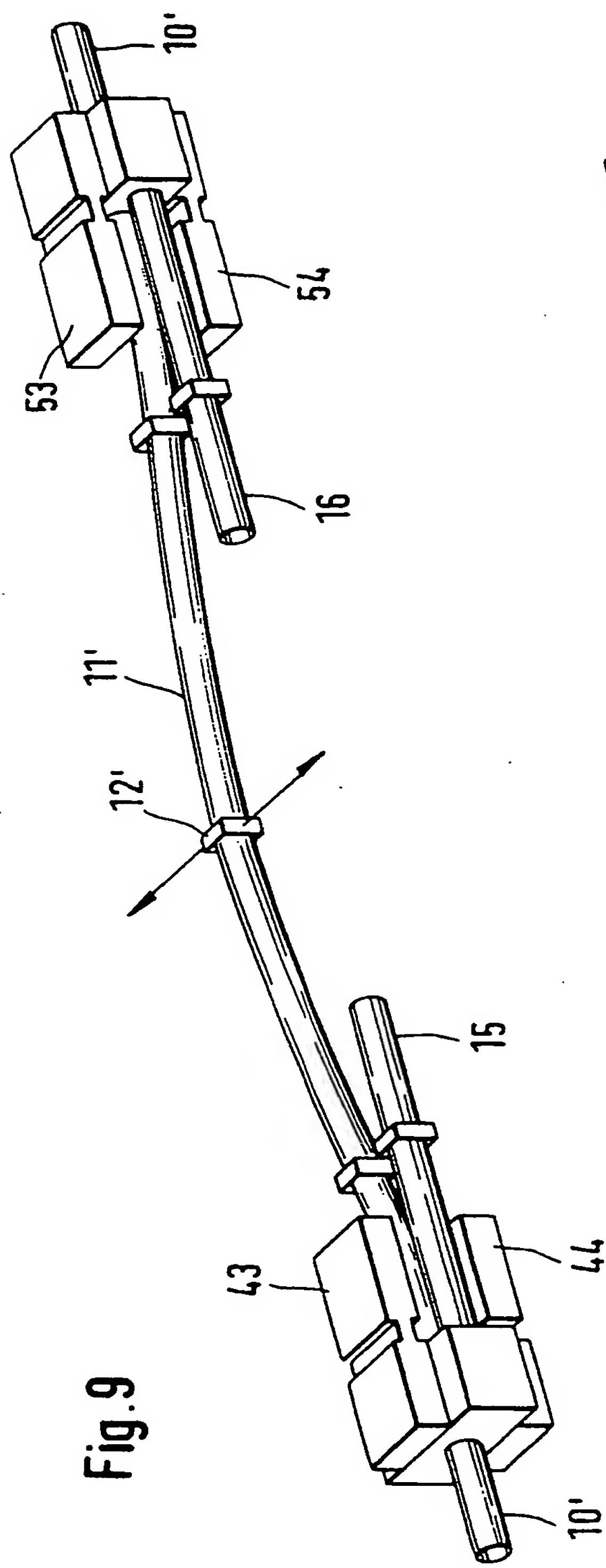


Fig. 9

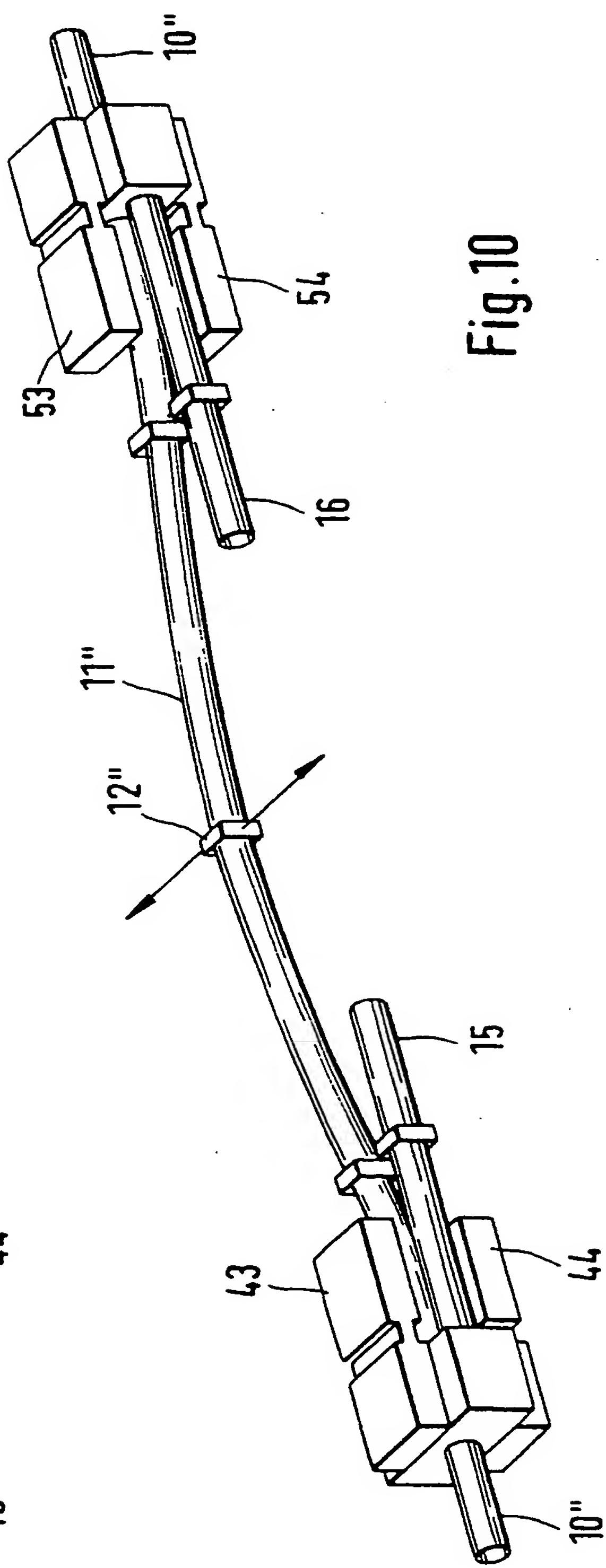


Fig. 10

5/9

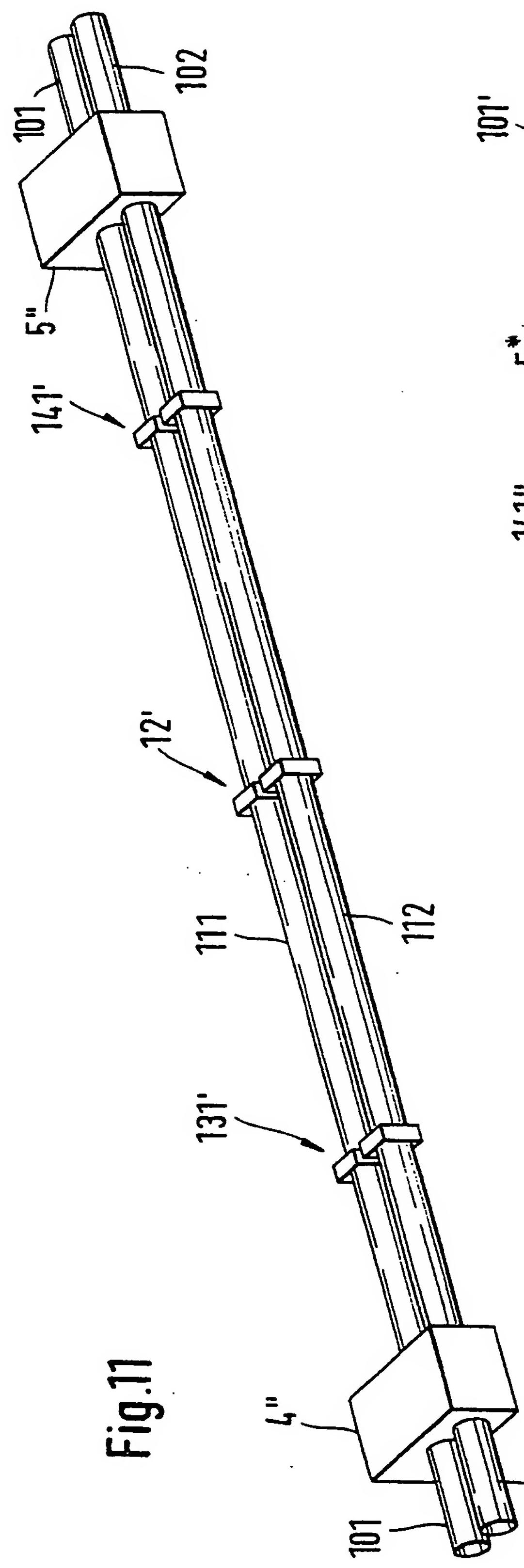


Fig. 11

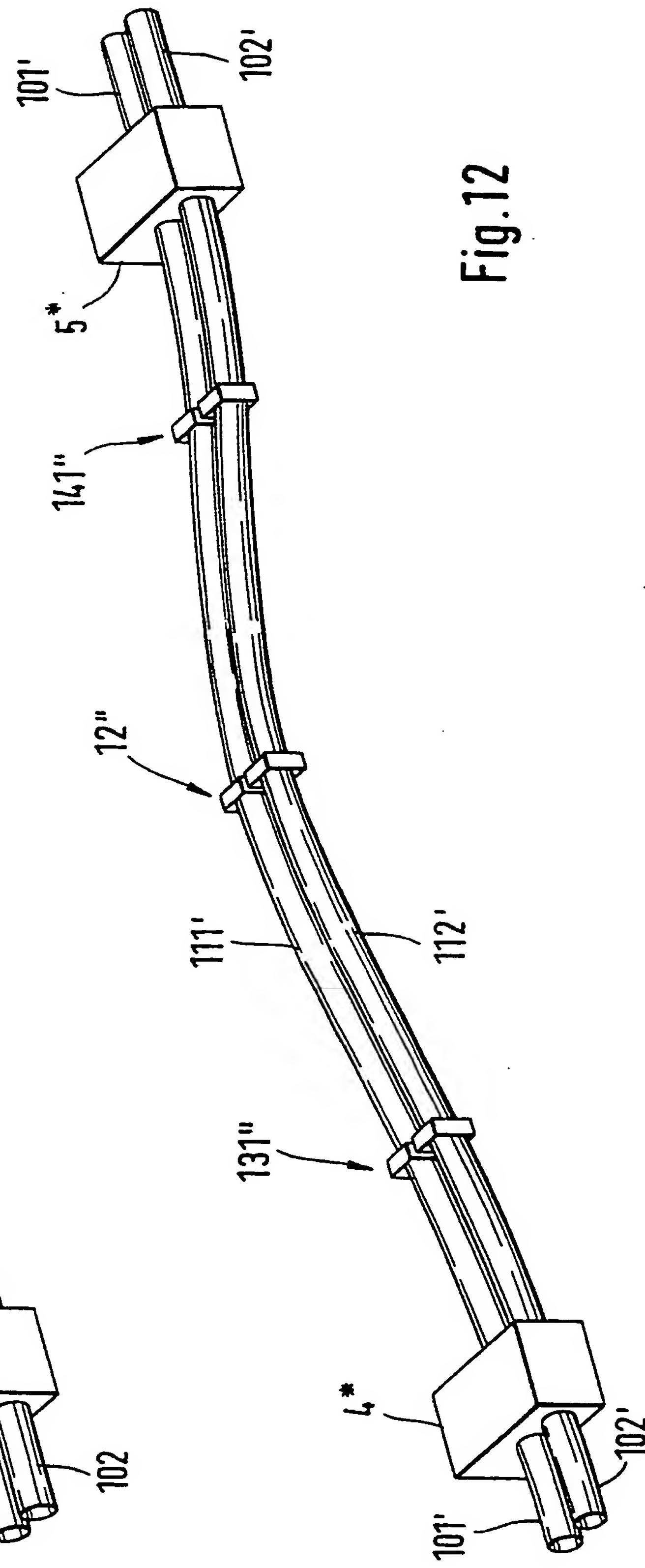


Fig. 12

6 / 9

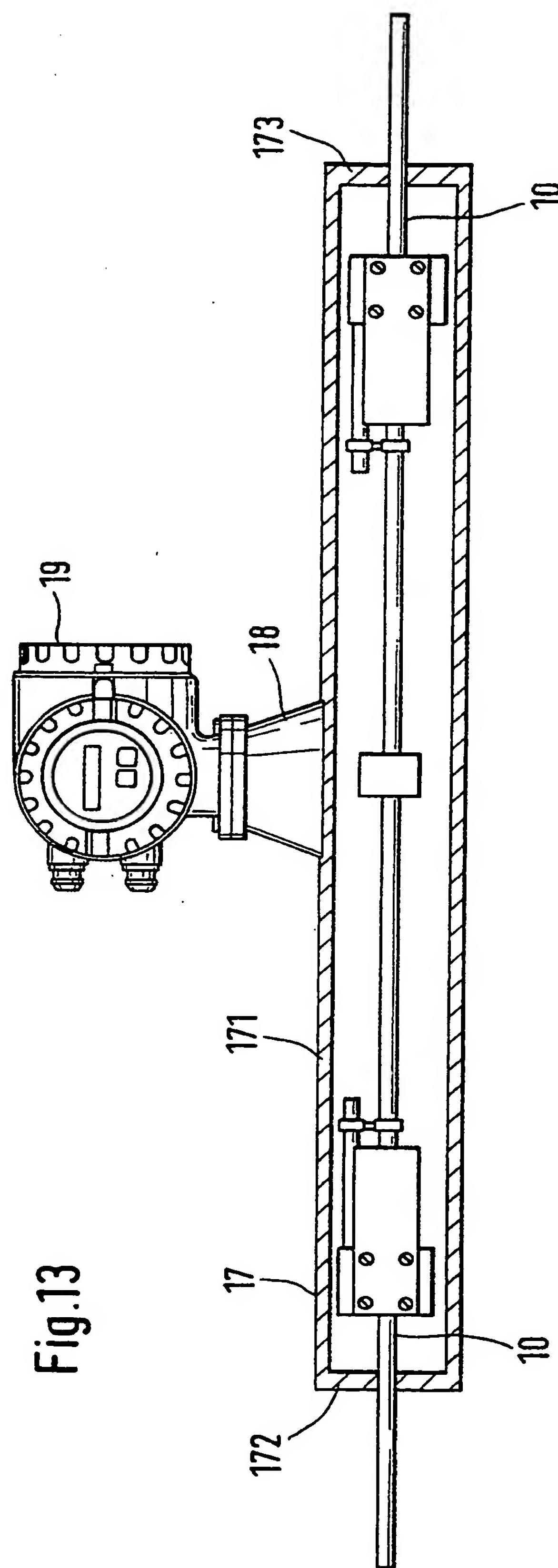


Fig.13

7/9

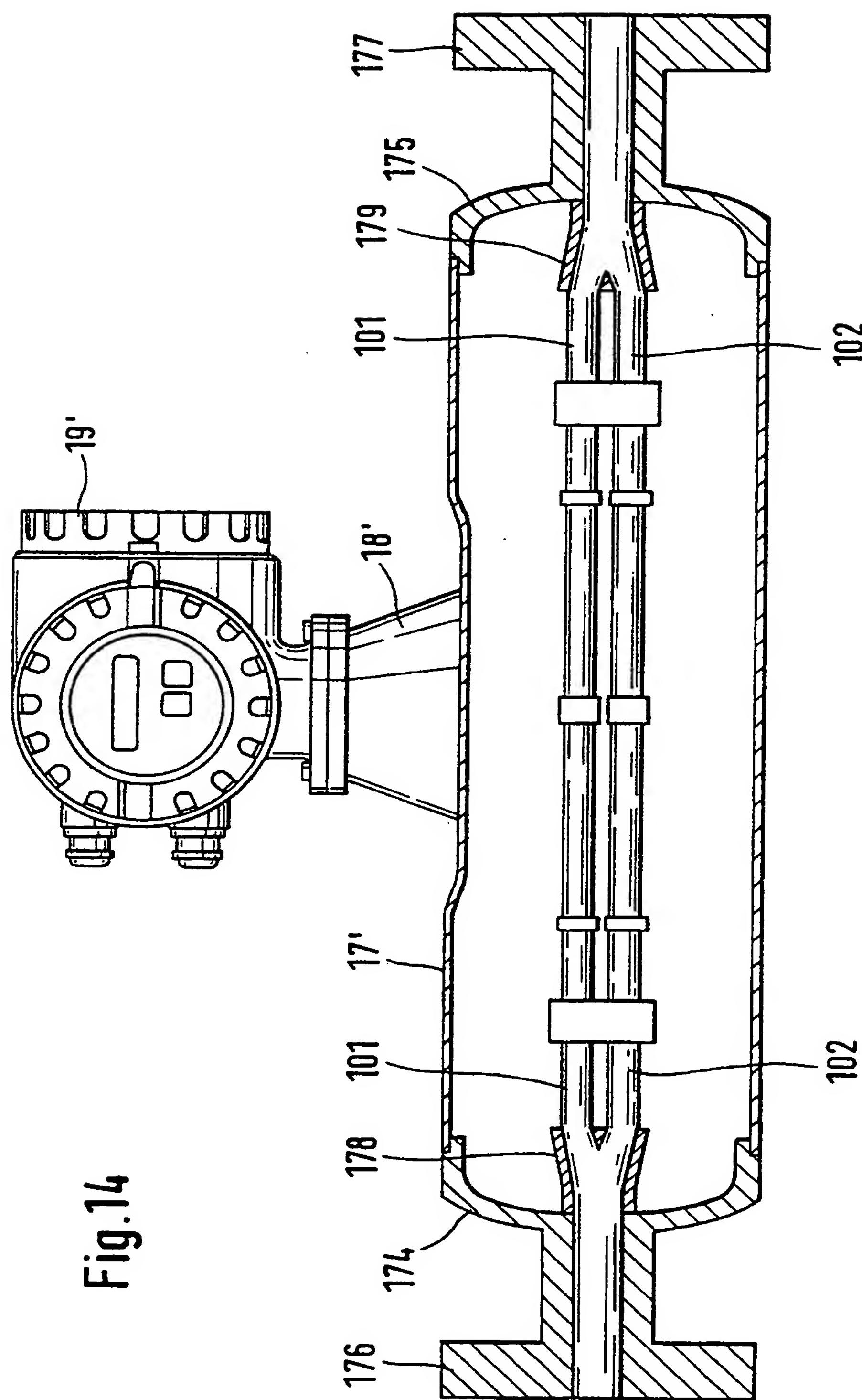


Fig. 14

8 / 9

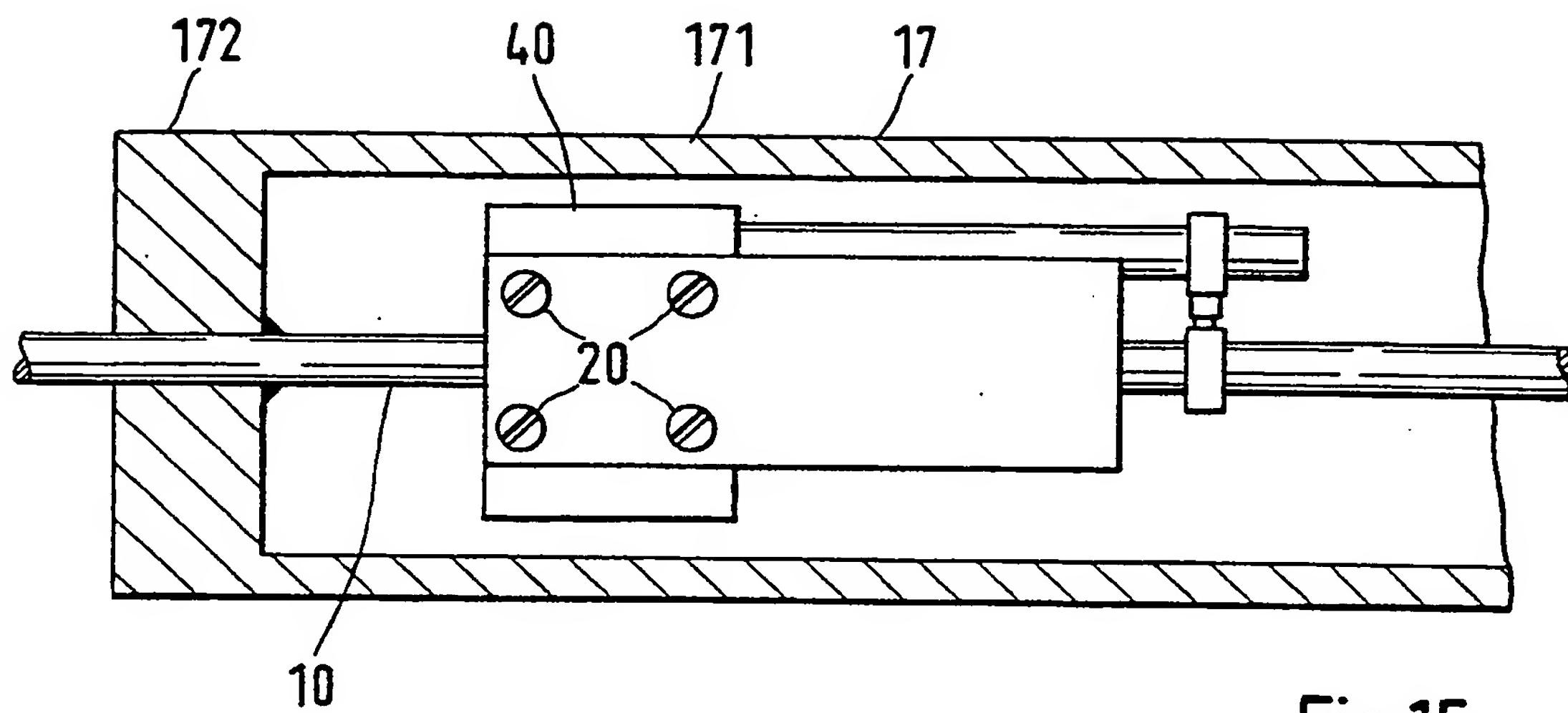


Fig.15

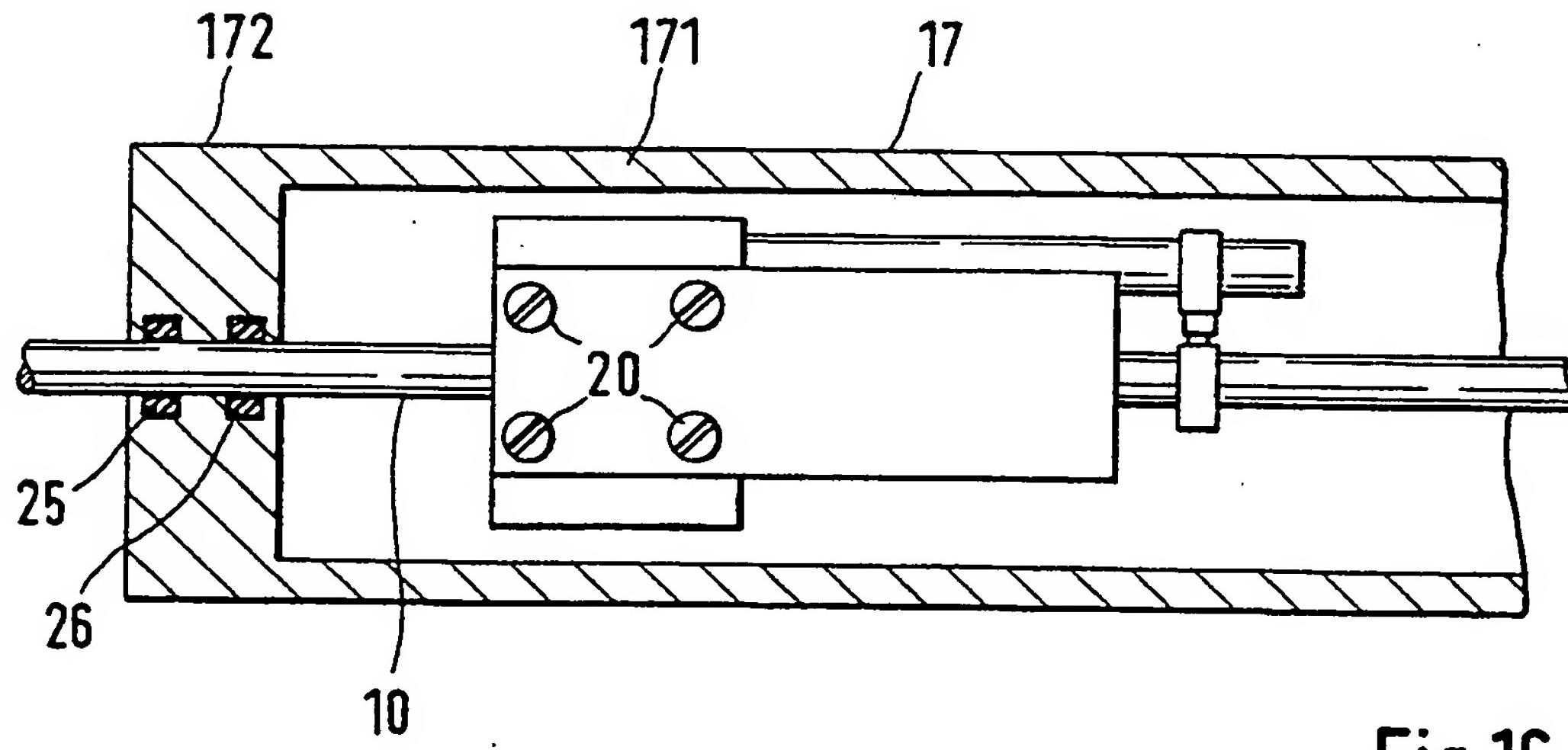
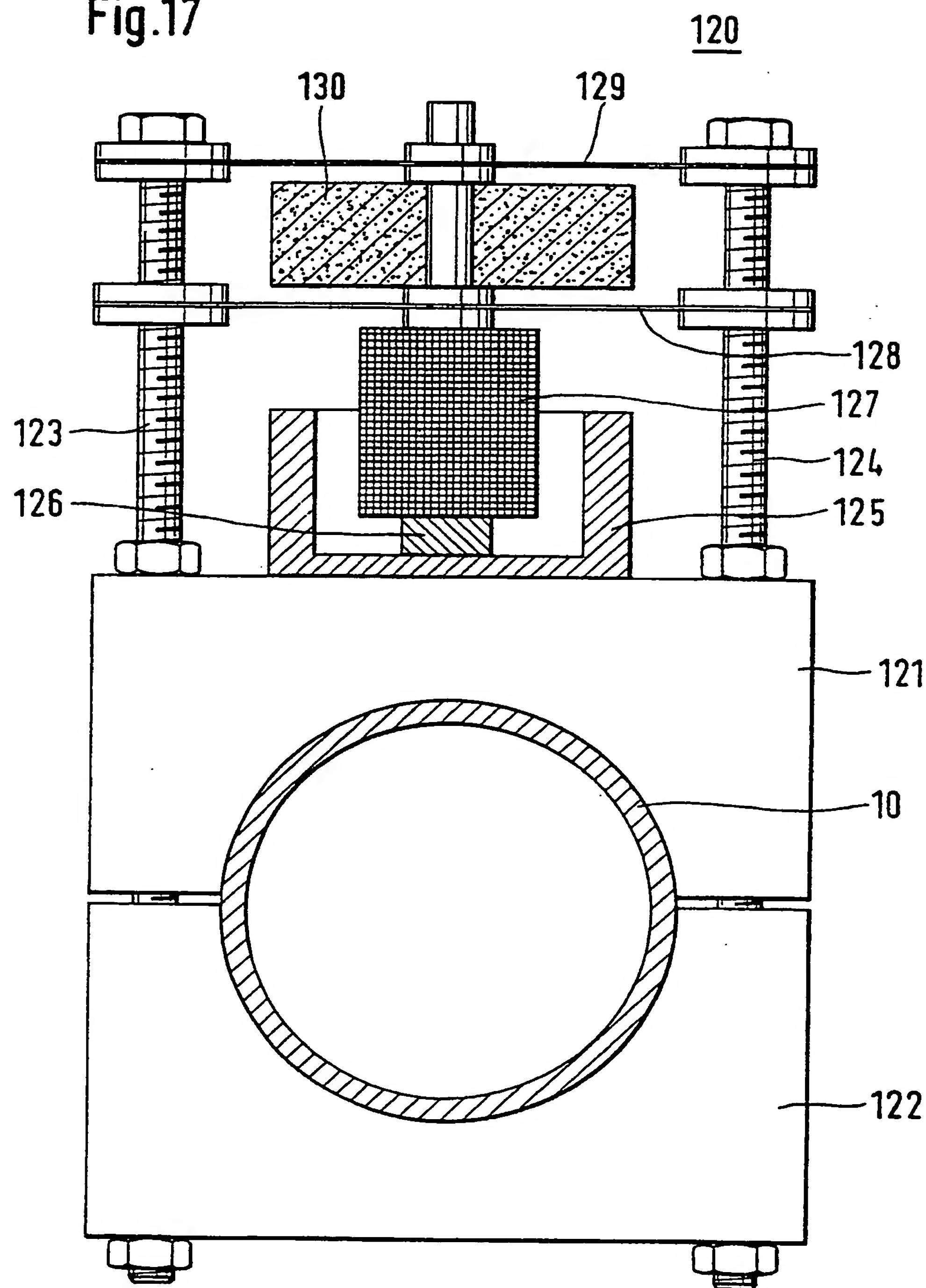


Fig.16

9 / 9

Fig.17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/02134

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01F1/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 705 754 A (KEITA MAMADI ET AL) 6 January 1998 (1998-01-06) cited in the application column 2, line 65 - column 4, line 7; figures 1,2 ---	1,2,5, 8-12,18
A	US 5 321 991 A (KALOTAY PAUL Z) 21 June 1994 (1994-06-21) cited in the application column 4, line 39 - column 14, line 68; figures 1-10 ---	1,2, 8-12,18
A	EP 0 803 713 A (FLOWTEC AG) 29 October 1997 (1997-10-29) cited in the application column 3, line 53 - column 11, line 43; figures 1-11 ---	1,2, 8-12,18

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 August 1999

Date of mailing of the international search report

24/08/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Heinsius, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/02134

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 96 02812 A (MICRO MOTION INC) 1 February 1996 (1996-02-01) page 13, line 22 - page 14, line 18; figure 9 -----	1,2, 8-12,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/02134

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 5705754	A	06-01-1998	EP	0770858 A	02-05-1997
			CN	1160192 A	24-09-1997
			JP	2859591 B	17-02-1999
			JP	9138150 A	27-05-1997
US 5321991	A	21-06-1994	AU	2433592 A	02-03-1993
			BR	9206318 A	24-10-1995
			CA	2113800 A	02-02-1993
			DE	69210244 D	30-05-1996
			DE	69210244 T	31-10-1996
			EP	0597021 A	18-05-1994
			HK	1003233 A	16-10-1998
			HU	67983 A, B	29-05-1995
			JP	8020295 B	04-03-1996
			JP	6509649 T	27-10-1994
			WO	9303336 A	18-02-1993
EP 0803713	A	29-10-1997	CN	1168970 A	31-12-1997
			JP	2831629 B	02-12-1998
			JP	10038655 A	13-02-1998
			US	5854430 A	29-12-1998
WO 9602812	A	01-02-1996	US	5497666 A	12-03-1996
			AU	3003595 A	16-02-1996
			BR	9508208 A	12-08-1997
			CA	2184751 A	01-02-1996
			CZ	9700178 A	14-05-1997
			EP	0771408 A	07-05-1997
			HU	76703 A	28-10-1997
			JP	2778836 B	23-07-1998
			JP	10500217 T	06-01-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02134

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G01F1/84

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 705 754 A (KEITA MAMADI ET AL) 6. Januar 1998 (1998-01-06) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 65 – Spalte 4, Zeile 7; Abbildungen 1,2 ---	1,2,5, 8-12,18
A	US 5 321 991 A (KALOTAY PAUL Z) 21. Juni 1994 (1994-06-21) in der Anmeldung erwähnt Spalte 4, Zeile 39 – Spalte 14, Zeile 68; Abbildungen 1-10 ---	1,2, 8-12,18
A	EP 0 803 713 A (FLOWTEC AG) 29. Oktober 1997 (1997-10-29) in der Anmeldung erwähnt Spalte 3, Zeile 53 – Spalte 11, Zeile 43; Abbildungen 1-11 ---	1,2, 8-12,18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. August 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/08/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Heinsius, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02134

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ³	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 96 02812 A (MICRO MOTION INC) 1. Februar 1996 (1996-02-01) Seite 13, Zeile 22 - Seite 14, Zeile 18; Abbildung 9 -----	1, 2, 8-12, 18

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02134

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5705754	A	06-01-1998	EP	0770858 A	02-05-1997
			CN	1160192 A	24-09-1997
			JP	2859591 B	17-02-1999
			JP	9138150 A	27-05-1997
US 5321991	A	21-06-1994	AU	2433592 A	02-03-1993
			BR	9206318 A	24-10-1995
			CA	2113800 A	02-02-1993
			DE	69210244 D	30-05-1996
			DE	69210244 T	31-10-1996
			EP	0597021 A	18-05-1994
			HK	1003233 A	16-10-1998
			HU	67983 A, B	29-05-1995
			JP	8020295 B	04-03-1996
			JP	6509649 T	27-10-1994
			WO	9303336 A	18-02-1993
EP 0803713	A	29-10-1997	CN	1168970 A	31-12-1997
			JP	2831629 B	02-12-1998
			JP	10038655 A	13-02-1998
			US	5854430 A	29-12-1998
WO 9602812	A	01-02-1996	US	5497666 A	12-03-1996
			AU	3003595 A	16-02-1996
			BR	9508208 A	12-08-1997
			CA	2184751 A	01-02-1996
			CZ	9700178 A	14-05-1997
			EP	0771408 A	07-05-1997
			HU	76703 A	28-10-1997
			JP	2778836 B	23-07-1998
			JP	10500217 T	06-01-1998